

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01V 1/28 (2006.01)

G01V 1/36 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200810098058.9

[45] 授权公告日 2009年6月17日

[11] 授权公告号 CN 100501449C

[22] 申请日 2008.5.26

[21] 申请号 200810098058.9

[73] 专利权人 刘文霞

地址 124010 辽宁省盘锦市兴隆台区辽河  
油田勘探开发研究院

[72] 发明人 刘文霞 张文坡 郭平 胡天跃

[56] 参考文献

CN1873441A 2006.12.6

CN1837859A 2006.9.27

US7333392B2 2008.2.19

CN1797040A 2006.7.5

审查员 王蕾

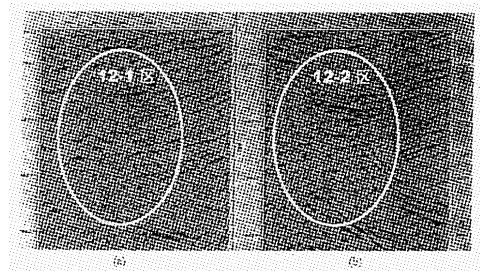
权利要求书2页 说明书17页 附图7页

[54] 发明名称

一种地震数据拆分处理方法

[57] 摘要

一种地震数据拆分处理方法包括步骤：(i) 利用地震勘探设备，采集地震数据；(ii) 对原始资料进行观测系统定义；(iii) 进行频率分析和频率扫描，确定各个频率段对地质构造的贡献程度；(iv) 将经过观测系统定义的单炮数据拆分为不同频段；(v) 将拆分后的数据体分别顺序进行地震资料振幅补偿、反褶积、静校正、水平叠加、偏移成像；(vi) 将拆分后的数据体合并，构成最终偏移数据体；(vii) 将合并后的偏移数据体经过滤波、增益处理后用于地震资料解释。本发明解决了常规处理方法对不同的频率成分考虑不周，造成低信噪比资料中深层复杂构造成像不清的问题，使最终处理的地震资料成像效果较好，大大提高了处理质量，对中深层成像贡献很大。



1、一种地震数据拆分处理方法，该方法包括以下步骤：

(i) 可以利用地震勘探设备，采集地震数据：

在野外通过机械可控震源在地面设计的炮线上人工激发地震波，采常规方法在预勘探区域设置多个接收点，所述多个接收点散布在包括炮点在内的地面上一个勘探目标区域范围的矩形网格点上，使用地震检波设备获取爆炸波及地震波的波形和记录的炮点、检波点的大地坐标及炮点、检波点的相对关系信息的原始资料；

(ii) 对原始资料进行观测系统定义：

将地震采集时记录的炮点、检波点的大地坐标及炮点、检波点的相对关系信息置于采集到的单炮的每一个记录道的道头中；

(iii) 进行频率分析和频率扫描，确定各个频率段对地质构造的贡献程度；

(iv) 将经过观测系统定义的单炮数据拆分为不同频段：

在确定有效频率段  $f_a$  和有效频率段  $f_b$  之后，确定用于拆分数数据的频率段  $F_A$  和  $F_B$ ， $F_A=f_a+\Delta f$ ， $F_B=f_2-f_1+\Delta f$ ， $\Delta f=0.1f_{neq}$ ，其中  $f_{neq}$  为尼奎斯特频率， $f_1$ 、 $f_2$  为不同点的频率；由所有的  $F_A$  组成的单炮形成拆分后的数据体  $data1$ ，由所有的  $F_B$  组成的单炮形成拆分后的数据体  $data2$ ；

(v) 将拆分后的数据体  $data1$  和  $data2$  分别顺序进行地震资料振幅补偿、反褶积、静校正、水平叠加、偏移成像；

(vi) 将拆分后的数据体合并，构成最终偏移数据体：

拆分后的数据体  $data1$  和拆分后的数据体  $data2$  完成偏移后得到不同的偏移数据体  $data_{1m}$  和  $data_{2m}$ ，然后按照公式①中的方法进行合并得到新的偏移数据体  $data$ ：

$$data = \sum_{t=0}^{t_{max}} data_{1m}(t) \left( 20 + \frac{t}{t_{max}} \times 60 \right) \% + data_{2m}(t) \left( 80 - \frac{t}{t_{max}} \times 60 \right) \% \quad \dots\dots ①$$

其中， $t$  为地震记录时间， $t_{max}$  为有效构造最深处的反射时间；

(vii) 将合并后的偏移数据体经过滤波、增益处理后用于地震资料解释，用于判断和解释地下地质构造，帮助地震数据解释人员寻找有利油气圈闭、确定井位的精度。

2、权利要求 1 中的地震数据拆分处理方法，其中步骤 (iii) 中所述进行频率分析和频率扫描确定各个频率段对地质构造的贡献程度包括以下步骤：

(21) 对经过观测系统定义的单炮记录进行频率分析，确定有效波的范围；

(22) 对叠加剖面进行频率扫描，根据不同的频率成分在叠加剖面上的成像结果来确定不同的频率成分对不同构造的贡献程度。

3、权利要求 1 中的地震数据拆分处理方法，其中步骤 (v) 中所述将拆分后的数据体 data1 和 data2 分别顺序进行地震资料振幅补偿、反褶积、静校正、水平叠加、偏移成像可分别采用常规技术手段。

4、权利要求 1 中的地震数据拆分处理方法，其中步骤 (v) 中将拆分后的数据体 data1 和 data2 中采用地震资料振幅补偿是对炮点、检波点和偏移距的数据集合进行振幅均衡补偿，其包括以下步骤：

(41) 首先按照公式 ② 判别设定时间窗内噪音和有效信号的平均振幅：

$$P = \left[ \frac{1}{N} \sum_{j=t}^{t+N} a^2(j) \right]^{1/2} \quad \text{②}$$

这里 P 为时间窗内的均方根振幅，t 为时间窗的起始时间，N 为时间窗的长度，j 为从时间 t 处开始到时间 t+N 处结束的时间窗内的采样点数，a(j) 为采样点 j 处的振幅值；

(42) 通过实际资料测试给出一个门槛值，计算采样点 j 处的振幅与 P 的比值，如果比值超过设定的门槛值，则采样点 j 处的振幅用 P 值替换，如果比值不超过设定的门槛值，则采样点 j 处的振幅保持不变，从而达到振幅补偿的目的。

## 一种地震数据拆分处理方法

### 技术领域

本发明涉及一种地震数据处理的方法，具体涉及在油气勘探开发中为了提高对地震勘探的精度而进行的一种地震数据拆分处理方法。

### 背景技术

反射波地震资料处理技术是地球物理勘探中的一项重要技术，在石油勘探领域中占有重要的地位。

地震勘探是在地质工作和其它物探工作初步确定的有含油气希望的地区，布置测线，人工激发地震波，并用野外地震仪把地震波传播的情况记录下来，然后根据地震波的传播理论，利用数字电子计算机，对野外获得的原始资料进行各种去粗取精、去伪存真的处理工作，进一步研究地震波在地层中传播的情况，来提供用于反映地下地质情况的地震剖面，以查明地下的地质构造，为寻找油气田或其它勘探目的的服务的一种物探方法。

在地震资料处理过程中，如何提高地震资料的处理质量，保证成像精度是地震资料处理的重要问题，不同的频率成分反映了不同的地下地质信息，现有做法是针对某个个别模块，如叠前噪音去除、地表一致性静校正等采用模型道分频处理的方法，取得了较好的效果，但在实际工作中，不能完全充分考虑地震资料的各个频率的贡献，对成像有一定的制约性。

中国专利申请 CN1873441A 公开了一种地震数据处理中压制与激发源无关的背景噪声的方法，其利用初至前干扰背景能量来识别干扰波的横向分布，在频率域通过正常道振幅包络内插值与干扰道原始振幅包络比值获得噪声压制因子，并利用该压制因子在频率域对不正常道频谱进行压制，从而提高地震记录叠前资料的信噪比，但是该专利申请只是压制地震数据中与激发源无关的背景噪声的方法，是多种针对单一噪音压制方法中的一种，具有局限性，如果干扰道中存在有效信号，则在压制噪音的同时，有可能把同频率段的有效信号当作噪音压制掉，从而损失有效信号，降低有效信号的成像质量。

美国专利申请 US7333392B2 公开了一种估算和重构地震反射的方法，其利用 Karhunen.Loeve 变换，将在目标区选择的地震数据转换成信号模型，形成模式共变数矩阵，计算矩阵的本征值和本征矢量，利用本征矢量进行信号的相干估算，将原始信号与模型信号加权求和从而获得目标区重构后的数据，但是该专利申请存在过分依赖原始数据信噪比的缺陷，若信噪比太低，则不能估算出高质量的信号模型，从而不能重构出更好的数据。另外该申请是对目标区内低信噪比资料进行重构，这样会破坏与目标区外信号的地球物理特性的关系，影响地震构造岩性解释。

因此，目前亟需一种考虑所有有效信号的不同频率成分对地质构造的贡献，同时又能够兼顾各种频率成分，使现有各种处理技术能够更有效地发挥作用，较理想地解决现有常规地震资料处理方法在使用上所面临的分辨率与信噪比的矛盾，更好地提高地震资料的品质，同时不破坏反射信号的相对关系，有利于下一步地震解释的地震数据处理方法。

## 发明内容

为了解决上面所述的技术问题，本发明提出一种地震数据的数据拆分处理方法，使用该方法能够解决常规处理方法中对不同的频率成分考虑不周，造成低信噪比资料中深层复杂构造成像不清的问题。

依据本发明的地震数据拆分处理方法包括以下步骤：（1）对原始资料进行观测系统定义；（2）进行频率扫描，确定各个频率段对地质构造的贡献程度；（3）将数据按照不同频段进行拆分；（4）将拆分后的数据体，分别进行地震资料振幅补偿、反褶积、静校正、水平叠加、偏移成像；（5）将处理后的数据体合并，构成最终成果数据体。

具体为：该地震数据拆分处理方法包括以下步骤：

（i）可以利用地震勘探设备，采集地震数据：

在野外通过机械可控震源在地面设计的炮线上人工激发地震波，采用常规方法在预勘探区域设置多个接收点，所述多个接收点散布在包括炮点在内的地面上一个勘探目标区域范围的矩形网格点上，使用地震检波设备获取爆炸波及地震波的波形和记录的炮点、检波点的大地坐标及炮点、检波点的相对关系信息的原始资料；

（ii）对原始资料进行观测系统定义：

将地震采集时记录的炮点、检波点的大地坐标及炮点、检波点的相对关系信息置于采集到的单炮的每一个记录道的道头中；

（iii）进行频率分析和频率扫描，确定各个频率段对地质构造的贡献程度；

（iv）将经过观测系统定义的单炮数据拆分为不同频段：

在确定有效频率段  $f_a$  和有效频率段  $f_b$  之后，确定用于拆分数数据的频率段  $F_A$  和  $F_B$ ， $F_A=f_a+\Delta f$ ， $F_B=f_2-f_1+\Delta f$ ， $\Delta f=0.1f_{neq}$ ，由所有的  $F_A$  组成

的单炮形成拆分后的数据体  $data1$ ，由所有的  $F_B$  组成的单炮形成拆分后的数据体  $data2$ ；

(v) 将拆分后的数据体  $data1$  和  $data2$  分别顺序进行地震资料振幅补偿、反褶积、静校正、水平叠加、偏移成像；

(vi) 将拆分后的数据体合并，构成最终偏移数据体：

拆分后的数据体  $data1$  和拆分后的数据体  $data2$  完成偏移后得到不同的偏移数据体  $data_{1m}$  和  $data_{2m}$ ，然后按照公式①中的方法进行合并得到新的偏移数据体  $data$ ：

$$data = \sum_{t=0}^{t_{max}} data_{1m}(t) \left( 20 + \frac{t}{t_{max}} \times 60 \right) \% + data_{2m}(t) \left( 80 - \frac{t}{t_{max}} \times 60 \right) \% \quad \dots\dots ①$$

其中， $t$  为地震记录时间， $t_{max}$  为有效构造最深处的反射时间；

(vii) 将合并后的偏移数据体经过滤波、增益处理后用于地震资料解释，用于判断和解释地下地质构造，帮助地震数据解释人员寻找有利油气圈闭、确定井位的精度。

其中，步骤 (iii) 中所述进行频率分析和频率扫描确定各个频率段对地质构造的贡献程度包括以下步骤：

(21) 对经过观测系统定义的单炮记录进行频率分析，确定有效波的范围；

(22) 对叠加剖面进行频率扫描，根据不同的频率成分在叠加剖面上的成像结果来确定不同的频率成分对不同构造的贡献程度。

另外，步骤 (v) 中所述将拆分后的数据体  $data1$  和  $data2$  分别顺序进行地震资料振幅补偿、反褶积、静校正、水平叠加、偏移成像可分别采用常规技术手段。

优选地，步骤 (v) 中将拆分后的数据体  $data1$  和  $data2$  中采用地震

资料振幅补偿是对炮点、检波点和偏移距的数据集合进行振幅均衡补偿，其包括以下步骤：

(41) 首先按照公式 ② 判别设定时间窗内噪音和有效信号的平均振幅：

$$P = \left[ \frac{1}{N} \sum_{j=t}^{t+N} a^2(j) \right]^{1/2} \quad \text{②}$$

这里 P 为时间窗内的均方根振幅，t 为时间窗的起始时间，N 为时间窗的长度，j 为从时间 t 处开始到时间 t+N 处结束的时间窗内的采样点数，a(j) 为采样点 j 处的振幅值；

(42) 通过实际资料测试给出一个阈值，计算采样点 j 处的振幅与 P 的比值，如果比值超过设定的阈值，则采样点 j 处的振幅用 P 值替换，如果比值不超过设定的阈值，则采样点 j 处的振幅保持不变，从而达到振幅补偿的目的。

在其它方面中，依据本发明的另一优选方面，数据拆分处理方法包括对野外采集的二维或三维地震资料进行观测系统定义，将野外观测系统的信息赋予数据道头中。

在其它方面中，依据本发明的另一优选方面，数据拆分处理方法包括要对野外采集的二维或三维地震资料进行频率扫描，以确定各个频段对地质构造的贡献情况。

本发明所述的数据拆分处理方法，将拆分后的数据体，分别进行地震资料振幅补偿、反褶积、静校正、水平叠加、偏移成像，这样，可以全面考虑各个频率成分对地下地质体速度的影响，改善不同频率成分的



成像精度，提高成像效果。

本发明所述的数据拆分处理方法，针对地下地质构造，将处理后的数据体加权合并，构成最终成果数据体，以满足地质解释的需要。

### 附图简要说明

- 图 1 低信噪比资料常规偏移剖面；
- 图 2 地震采集单炮的频谱；
- 图 3 利用频率段  $f_a$  进行频率扫描后的结果示意图；
- 图 4 利用频率段  $f_b$  进行频率扫描后的结果示意图；
- 图 5 地震采集单炮的频谱；
- 图 6 常规反褶积结果；
- 图 7 拆分数据体 data1 反褶积结果；
- 图 8 拆分数据体 data2 反褶积结果；
- 图 9 常规静校正结果；
- 图 10 拆分数据体 data1 静校正结果；
- 图 11 拆分数据体 data2 静校正结果；
- 图 12 常规处理成像剖面与拆分数据处理成像剖面效果对比；
- 图 13 数据拆分处理方法流程图。

### 具体实施方式

在野外通过机械可控震源在地面设计的炮线上人工激发地震波，采用常规方法，在预勘探区域设置多个接收点，所述多个接收点散布在包括炮点在内的地面上一个勘探目标区域范围的矩形网格点上，使用地震检波设备获取爆炸波及地震波的波形，或者选取通过常规手段获得的地震

剖面数据。对这些地震数据或剖面数据，进行拆分处理。

其中，在下面所使用的术语“资料”为本领域的通用词语，指代在地震勘探中通过地震数据采集设备采集到的各种数据或消息或波形。术语“浅层资料”指代地震数据中浅层的有效信号。术语“深层资料”指代地震数据中深层的有效信号。术语“观测系统定义”指代地震数据处理的一种将野外采集时的观测信息置于地震数据道头上的处理方法。

图 1 所示为低信噪比资料常规偏移剖面，1-1 区内资料信噪比较低，构造复杂，常规处理不能兼顾不同频率成分对地质构造的影响，造成最终深层复杂构造部位成像效果不好，不能满足地质勘探的需求，采用本发明方法则可以有效地解决该问题。

其具体实施步骤为：

1. 对原始资料进行观测系统定义；

将地震采集时记录的炮点、检波点的大地坐标及炮点、检波点的相对关系信息置于采集到的单炮的每一个记录道的道头中，用于后续处理；

2. 进行频率分析和频率扫描，确定各个频率段对地质构造的贡献程度；

首先对经过观测系统定义的单炮记录进行频率分析，确定有效波的范围，再对叠加剖面进行频率扫描，根据不同的频率成分在叠加剖面上的成像结果来确定不同的频率成分对不同构造的贡献程度；如附图 2 所示为频率分析的结果，其中横坐标为频率  $f$ ，纵坐标为振幅  $A$ ，曲线  $a$  表示为地震资料频率随振幅变化的趋势， $f_{neq}$  为尼奎斯特频率， $f_1$  为  $D_1$  点的频率， $f_2$  为  $D_2$  点的频率， $f_a$  为  $0\sim D_1$  点的频率范围， $f_a=f_1$ ， $f_b$  为  $D_1\sim D_2$

的频率范围,  $f_b=f_2-f_1$ 。利用  $f_a$  对地震叠加剖面进行频率扫描, 得到示意图 3 的结果, 0 为起始时间,  $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$  分别为地震波传播的三个时间值,  $t_{\max}$  为有效构造最深处的反射时间,  $t_n$  为地震记录的最大时间, 3-1 区表示为浅层资料有 20%是由有效频率段  $f_a$  的数据组成, 即表示  $f_a$  频率段对地质构造的浅层资料的贡献程度为 20%, 3-2 区表示为中、深层资料有 80%是由有效频率段  $f_a$  的数据组成, 即表示  $f_a$  频率段对地质构造的深层资料的贡献程度为 80%。利用  $f_b$  对地震叠加剖面进行频率扫描, 得到示意图 4 的结果, 4-1 区表示为浅层资料有 80%是由有效频率段  $f_b$  的数据组成, 即表示  $f_b$  频率段对地质构造的浅层资料的贡献程度为 80%。4-2 区表示为中、深层资料有 20%是由有效频率段  $f_b$  的数据组成, 即表示  $f_b$  频率段对地质构造的中、深层资料的贡献程度为 20%;

### 3. 将经过观测系统定义的单炮按照不同频段进行拆分;

根据上述步骤 (2) 的结果确定有效频率段  $f_a$  和有效频率段  $f_b$  之后, 可进一步确定用于拆分数据的频率段  $F_A$  和  $F_B$ , 示意图 5,  $F_A=f_a+\Delta f$ ,  $F_B=f_2-f_1+\Delta f$ ,  $\Delta f=0.1f_{\text{neq}}$ , 由所有的  $F_A$  组成的单炮形成拆分后的数据体 data1, 由所有的  $F_B$  组成的单炮形成拆分后的数据体 data2;

4. 将拆分后的数据体 data1 和 data2 分别顺序进行地震资料振幅补偿、反褶积、静校正、水平叠加、偏移成像, 如图 6—图 11; 由于未经过地震数据拆分处理, 6-1 区反褶积的效果不好, 经过地震数据拆分处理后, 7-1 区和 8-1 区的反褶积效果有了明显改进。由于未经过地震数据拆分处理, 9-1 区静校正的效果不好, 经过地震数据拆分处理后, 10-1 区和 11-1 区的静校正效果有了明显改进。

5. 将拆分后的数据体合并，构成最终偏移数据体：

拆分后的数据体  $data_1$  和拆分后的数据体  $data_2$  完成偏移后得到不同的偏移数据体  $data_{1m}$  和  $data_{2m}$ ，然后按照公式①中的方法进行合并得到新的偏移数据体  $data$ ：

$$data = \sum_{t=0}^{t_{max}} data_1(t) \left( 20 + \frac{t}{t_{max}} \times 60 \right) \% + data_2(t) \left( 80 - \frac{t}{t_{max}} \times 60 \right) \% \quad \dots\dots ①$$

其中  $t$  为地震记录时间， $t_{max}$  为有效构造最深处的反射时间，如图 12 所示，(a)为未经过数据拆分处理前的叠加剖面，12-1 区的偏移成像效果不好，(b)为经过数据拆分处理后的叠加剖面，12-2 区的信噪比均有了较大提高，构造成像更加清楚。

合并后的偏移数据体经过滤波、增益处理后用于地震资料解释。

在上述步骤中所涉及的对地震资料进行振幅补偿、反褶积、静校正、水平叠加、偏移成像可分别采用常规技术手段，也可以采用下面的优选技术手段，具体如下：

(1) 对地震资料进行振幅补偿：

振幅补偿是对炮点、检波点和偏移距的数据集合进行振幅均衡补偿。

首先按照公式 ② 判别设定时间窗内噪音和有效信号的平均振幅：

$$P = \left[ \frac{1}{N} \sum_{j=t}^{t+N} a^2(j) \right]^{1/2} \quad ②$$

这里  $P$  为时间窗内的均方根振幅， $t$  为时间窗的起始时间， $N$  为时间窗的长度， $j$  为从时间  $t$  处开始到时间  $t+N$  处结束的时间窗内的采样点数， $a(j)$  为采样点  $j$  处的振幅值。通过实际资料测试给出一个阈值，计算采样点  $j$  处的振幅与  $P$  的比值，如果比值超过设定的阈值，则采样点  $j$

处的振幅用 P 值替换，如果比值不超过设定的门槛值，则采样点 j 处的振幅保持不变，从而达到振幅补偿的目的。

(2) 对地震资料进行反褶积：

反褶积是地震资料处理中的一个重要技术。反褶积的目的是通过压缩地震反射子波的延续长度，来提高地震资料的分辨能力。通过反褶积，能够估计出地下反射界面的反射系数，还可以压制多次波。反褶积可以在叠前进行，也可以在叠后进行，也可以在频率域进行。

地震记录  $x(t)$  等于子波  $b(t)$  与反射系数  $r(t)$  的褶积

$$x(t) = b(t) * r(t)$$

我们所期望的结果是

$$Y(t) = \delta(t) * r(t) = r(t)$$

褶积模型在频率域的表达式

$$X(\omega) = B(\omega) R(\omega)$$

所以

$$R(\omega) = \frac{1}{B(\omega)} X(\omega)$$

令  $A(\omega) = \frac{1}{B(\omega)}$ ，则

$$R(\omega) = A(\omega) X(\omega)$$

$$r(t) = a(t) * x(t)$$

下一步是要求出反子波  $a(t)$ 。

已知地震子波，求出反子波，然后把反子波与地震记录进行褶积，得到反射系数的过程，既为反褶积处理。

### (3) 对地震资料进行静校正:

消除因激发条件和接受条件变化（主要是由于地形起伏和近地表结构的变化造成的）所引起的时差，这个过程称为静校正。

进行静校正包括两个方面：一是提取静校正量，二是实现静校正。由于一般假设地震波在低速带中垂直入射，则各记录道的静校正量不随时间的变化而变化，对于每个激发点或接收点来说，均只有一个静校正量。剩余静校正技术通常利用的是反射波。剩余静校正的基本模型，即动校正后道集与模型道之间的时差所以表示为炮点项、检波点项、构造项和剩余动校正项四项之和，即

$$T_{ij} = s_i + r_j + c_{(i+j)} + a_{(i+j)} x^2$$

其中，方程左端表示时差，方程右端四项分别表示炮点项、检波点项、构造项和剩余动校正项。

基于这一模型，对上述各道时差进行迭代分解，即可求出炮点和检波点静校正量。其过程一般为：

建立模型道；

将动校正后的道集与模型道进行相关来计算时差；

利用这些时差来计算炮点和检波点的静校正量平；

应用静校正量进行静校正。

### (4) 对地震资料进行自适应水平叠加:

自适应水平叠加在均值叠加时各道的加权系数为 1，参与叠加的各个地震道质量是有差别的。如果让质量好的道参与叠加的成分多，质量差的道参与叠加的成分少，质量很差的道不参与叠加，这样的叠加效果

肯定会更好，这样的叠加方法就是自适应水平叠加方法。

基本原理是通过在每个记录道上，随时间乘上不同的加权系数，来控制它们参与叠加的比例。可以采用最小二乘法来计算加权系数。在确定加权系数时，需要有一个标准道，让各道加权后都和此标准道最为接近。因此首先要求标准道，其次是求加权系数。

#### (a)标准道的形成

标准道的信噪比应比较高，一般是将均值叠加剖面进行相干加强后作为标准道。

#### (b)计算加权系数

对于地震记录中的某一段，其中心时刻为  $t$ ，时窗长度为  $L$ ， $d_j(t)$  表示第  $j$  道， $c_j(t)$  表示该道的加权系数，标准道为  $d_{ref}(t)$ 。我们的目标是使  $d_j(t)$  经过  $c_j(t)$  加权后最接近标准道，则问题变成使得  $c_j(t) d_j(t)$  最接近标准道  $d_{ref}(t)$ 。根据最小二乘法原理，最小均方差  $\xi$  为

$$\xi = \sum_{k=t-L/2}^{t+L/2} [c_j(t)d_j(k) - d_{ref}(k)]^2$$

欲使  $\xi$  最小，必须时

$$\frac{\partial \xi}{\partial c_j(t)} = 0$$

即

$$\frac{\partial \xi}{\partial c_j(t)} = 2 \sum_{k=t-L/2}^{t+L/2} [c_j(t)d_j(k) - d_{ref}(k)] = 0$$

化简得

$$c_j(t) = \frac{\sum_{k=t-L/2}^{t+L/2} d_{ref}(k)d_j(k)}{\sum_{k=t-L/2}^{t+L/2} d_j(k)d_j(k)}$$

这就是求加权系数的计算公式。显示可以看出，分子是  $d_{ref}(t)$  与  $d_j(t)$  的零延迟互相关，分母是  $d_j(t)$  的零延迟自相关。

### 具体步骤

#### (a) 计算标准道

首先形成均值叠加道，然后进行相干加强，最终得到标准道。

#### (b) 计算加权系数

根据上述公式计算加权系数，实际上是在某一给定的时窗内，计算标准道和记录道的互相关，以及计算记录道的自相关。求出的各道加权系数均是时间的函数，为了使加权叠加效果较好，要使加权系数位于一定的范围之内，具体限制条件为：

$$c_j \begin{cases} 0 & \text{当 } c_j < -A_1 \text{ 时} \\ A_1 & \text{当 } -A_1 \leq c_j \leq A_1 \text{ 时} \\ c_j & \text{当 } A_1 \leq c_j \leq A_2 \text{ 时} \\ A_2 & \text{当 } A_2 \leq c_j \text{ 时} \end{cases}$$

经过上述限制后，一般对加权系数沿道间进行平滑滤波，使加权系数趋于平滑。平滑可以采用中值滤波，也可以采用均值滤波方式或其它滤波方式。

#### (c) 加权叠加：

用求出的加权系数对每道进行加权，然后将加权后的地震记录叠



加，这样就得到了自适应加权叠加结果。

(5) 对地震资料进行偏移成像：

地下介质中每个点都可以看作绕射点，在自激自收剖面上，每个绕射点对应一个双曲线型响应，所以自激自收剖面可以看成是许多双曲线型响应叠加而成。

绕射波双曲线

地震剖面上某个地震道  $x$  的时间  $t_x$  可由下式计算：

$$t_x^2 = t_0^2 + \frac{4x^2}{v_{rms}^2}$$

单层倾斜介质

$$t_x^2 = t_0^2 + \frac{4x^2}{v_1^2}$$

总而言之，自激自收剖面上绕射波双曲线一般可以表示为

$$t_x^2 = t_0^2 + \frac{4x^2}{v_{rms}^2}$$

$t_0$  为双曲线顶点时间， $v_{rms}$  为绕射点以上介质的均方根速度， $x$  为其它道到顶点道的距离， $t_x$  为各道绕射波时间。

常规克希霍夫偏移是沿绕射双曲线作振幅叠加。在某输入道上的一个特定时间样点  $t_0$  及该样点处的均方根速度  $v_{rms}$ ，就可以确定过这样点的绕射双曲线（顶点为该样点）

$$t^2 = t_0^2 + \frac{4x^2}{v_{rms}^2}$$

沿该双曲线求和，并将和置于该样点，如此继续下去，计算出各道各个样点的绕射双曲线求和，就可得道克希霍夫偏移剖面。

在绕射求和时，需考虑以下三个因素：

传播方向

球面发散

相位、振幅恢复

克希霍夫积分方程

$$P_{3D}(x_1, y_1, z_1, t = 0) = \iint \frac{\cos \theta}{2\pi r c} \frac{\partial}{\partial t} P(x, y, z = 0, t = r/c) d_x d_y$$

其中  $r$  为  $P(x, y, z = 0)$  点到  $P(x_1, y_1, z_1)$  的距离， $c = v/2$ 。

$$P_{3D}(x_1, y_1, z_1, t = 0) = \frac{\partial}{\partial t} \iint \frac{\cos \theta}{2\pi r c} P(x, y, z = 0, t = r/c) d_x d_y$$

在二维情况下

$$P_{2D}(x_1, z_1, t = 0) = \frac{\partial}{\partial t} \int \frac{\cos \theta}{\sqrt{2\pi r c}} P^{1/2}(x, z = 0, t = r/c) d_x$$

$$P_{3D}(x_1, y_1, z_1, t = 0) = \frac{\partial}{\partial t} \frac{1}{\pi v^2 T_0} \iint \left(\frac{T_0}{T}\right)^2 P(x, y, z = 0, t = T) d_x d_y$$

$$P_{2D}(x_1, z_1, t = 0) = \frac{\partial^{1/2}}{\partial t} \frac{1}{\pi \sqrt{v T_0}} \left[ \iint \left(\frac{T_0}{T}\right)^{3/2} P(x, z = 0, t = T) d_x \right]$$

上述公式表明对三维数据要进行 90 度相位校正，对二维数据要进行 45 度相位校正。

对远道的加权系数小，近道大，也就是说，绕射点能量主要取决于近绕射点道。

偏移前要确定波前弧或者绕射波曲线在  $x$  方向上的范围  $L$ ， $L$  成为偏移孔径。 $L$  值由最大实际倾角来确定。

$$L \cong 2vt_0 \text{tg } \phi$$

倾角越大， $L$  越大

有效波越深,  $t_0$  越大,  $L$  越大。

孔径的中心, 原则上位于  $x_0$  处, 但也可以是不对称的。

本发明所述的数据拆分处理方法, 其优点在于首先考虑到反褶积在提高地震资料分辨率的同时却降低了信噪比, 而提高深层信噪比的主要思路是提高深层有效信号的能量。因此如何使反褶积既能提高分辨率, 又能提高信噪比是处理好深层资料的关键所在。

本发明所述的数据拆分处理方法, 把地震资料拆分为不同的频率段, 并分别对它们进行反褶积, 这样做的反褶积更能兼顾高、低频成分, 理想地解决了分辨率与反褶积之间的矛盾。

本发明所述的数据拆分处理方法, 其优点在于继续对拆分后的地震资料进行振幅补偿、反褶积、静校正、水平迭加、偏移等多种处理, 利用数据拆分处理方法可使最终处理的地震资料成像效果较好, 大大提高了处理质量, 对深层成像贡献很大。

本发明所述的方法可以针对不同的地震采集信号进行多套数据的拆分, 并对拆分后的数据体分别进行地震资料处理包括振幅补偿、反褶积、静校正、水平叠加、偏移等处理, 之后合并得到理想的处理结果, 示意图 13 为数据拆分处理方法流程图,  $A$  为原始地震数据,  $B_1$ 、 $B_2$ …… $B_n$  为拆分后的  $n$  个数据体,  $C_1$ 、 $C_2$ …… $C_n$  可以是相同的振幅补偿, 也可以根据情况采用不同的方法;  $D_1$ 、 $D_2$ …… $D_n$  可以是相同的反褶积处理, 也可以根据情况采用不同的方法;  $E_1$ 、 $E_2$ …… $E_n$  可以是相同的静校正处理, 也可以根据情况采用不同的方法;  $F_1$ 、 $F_2$ …… $F_n$  可以是相同的水平叠加处

理,也可以根据情况采用不同的方法;G1、G2……Gn 可以是相同的偏移处理,也可以根据情况采用不同的方法;H 为合并后的数据体,这种方法可以充分发挥所有信息的有效作用,利用采集到的所有有效信息精确地刻画地下地质构造的形态,为地震解释提供高质量的地震剖面。

尤其明显的是,使用本发明的地震数据拆分处理方法,不只考虑某种信号或噪音的频率,而是全面考虑所有有效信号的不同频率成分对地质构造的贡献,能够同时兼顾各种频率成分,使现有各种处理技术能够更有效地发挥作用,较理想地解决了现有常规地震资料处理方法在使用上所面临的分辨率与信噪比的矛盾,更好地提高了地震资料的品质,同时不破坏反射信号的相对关系,有利于下一步地震解释,该方法还可以针对不同的地震采集信号进行多套数据的拆分,使用更灵活、方便、有效。进一步应用处理过的数据来判断和解释地下地质构造,提高了勘探精度,提高了地震数据解释人员寻找有利油气圈闭、确定井位的精度。

如上述,已经清楚详细地描述了本发明提出的地震数据拆分处理的方法。尽管本发明的优选实施例详细描述并解释了本发明,但是本领域普通的技术人员可以理解,在不背离所附权利要求定义的本发明的精神和范围的情况下,可以在形式和细节中做出多种修改。

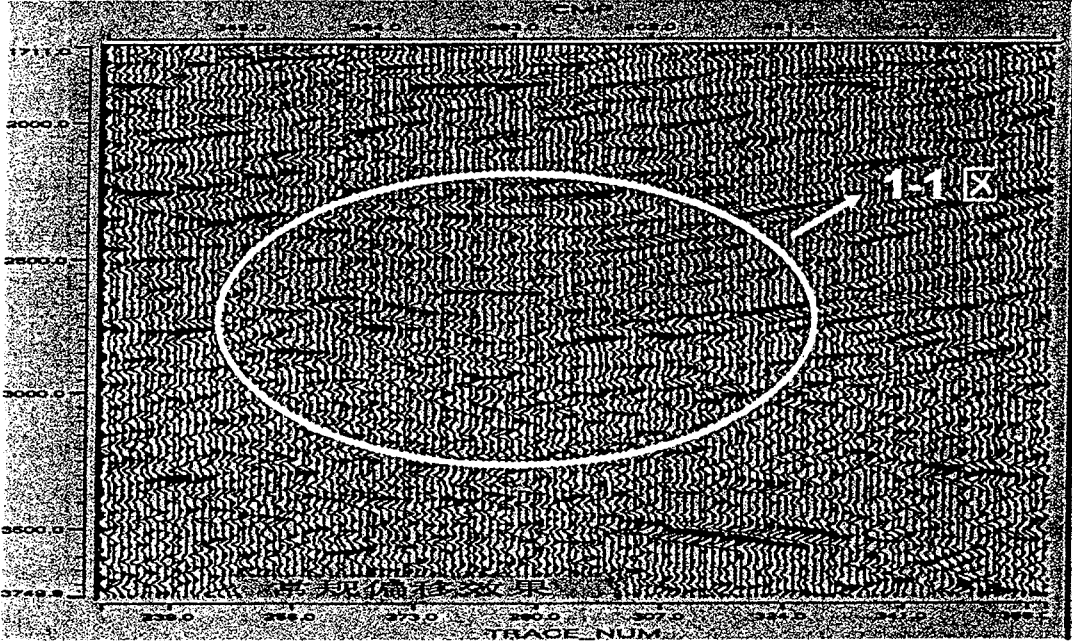


图 1

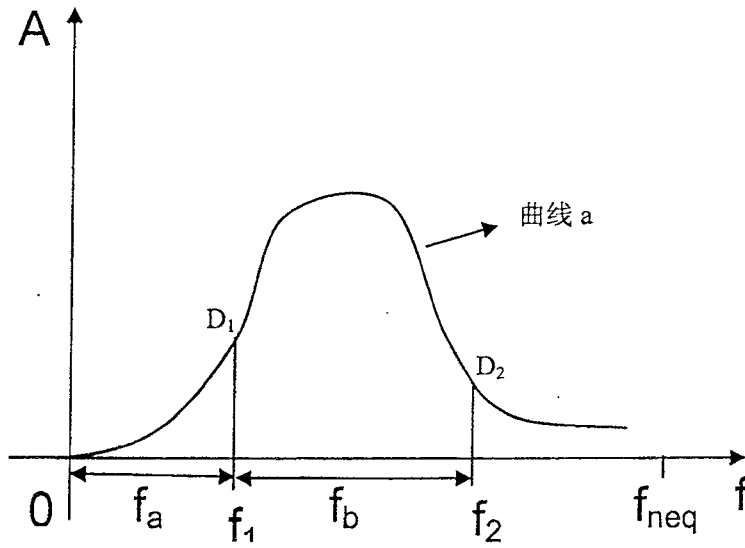


图 2

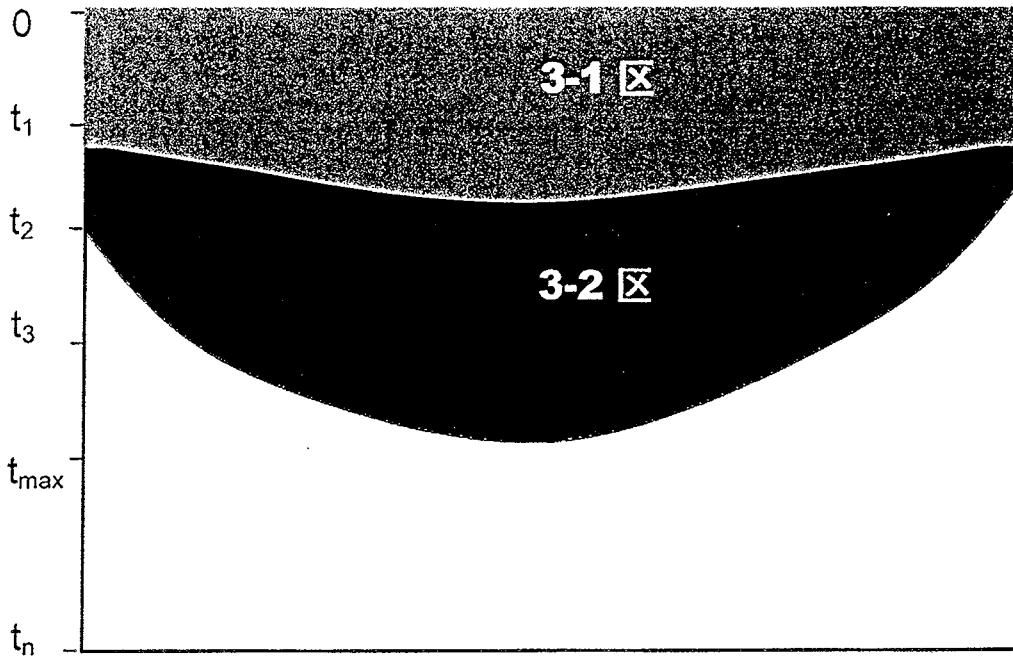


图 3

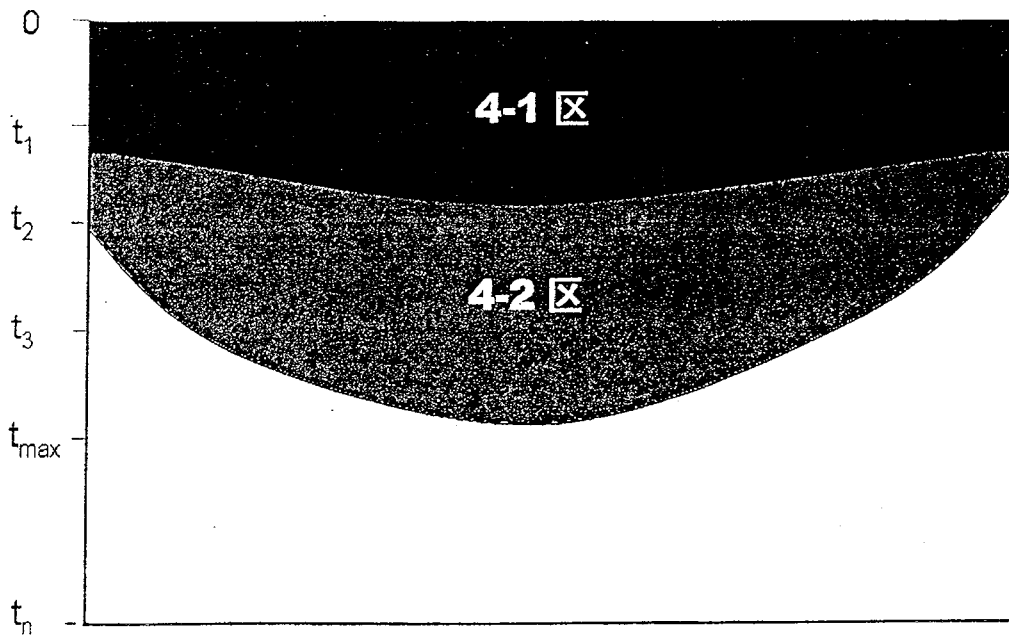


图 4

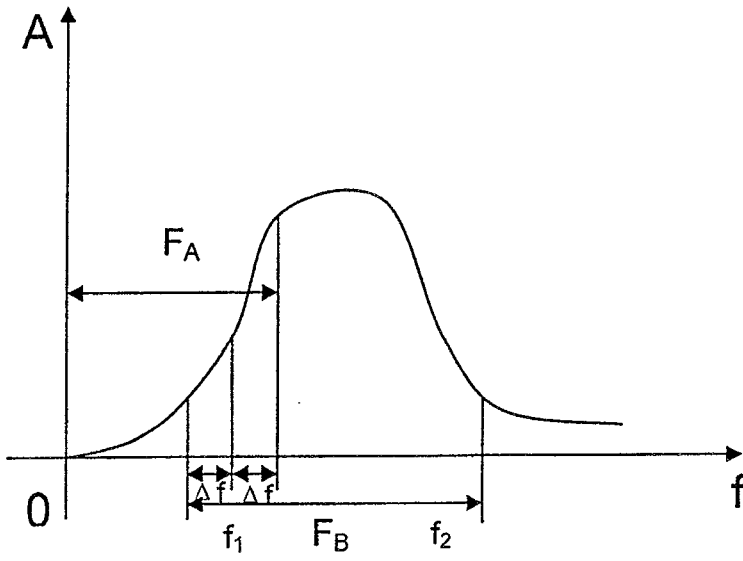


图 5

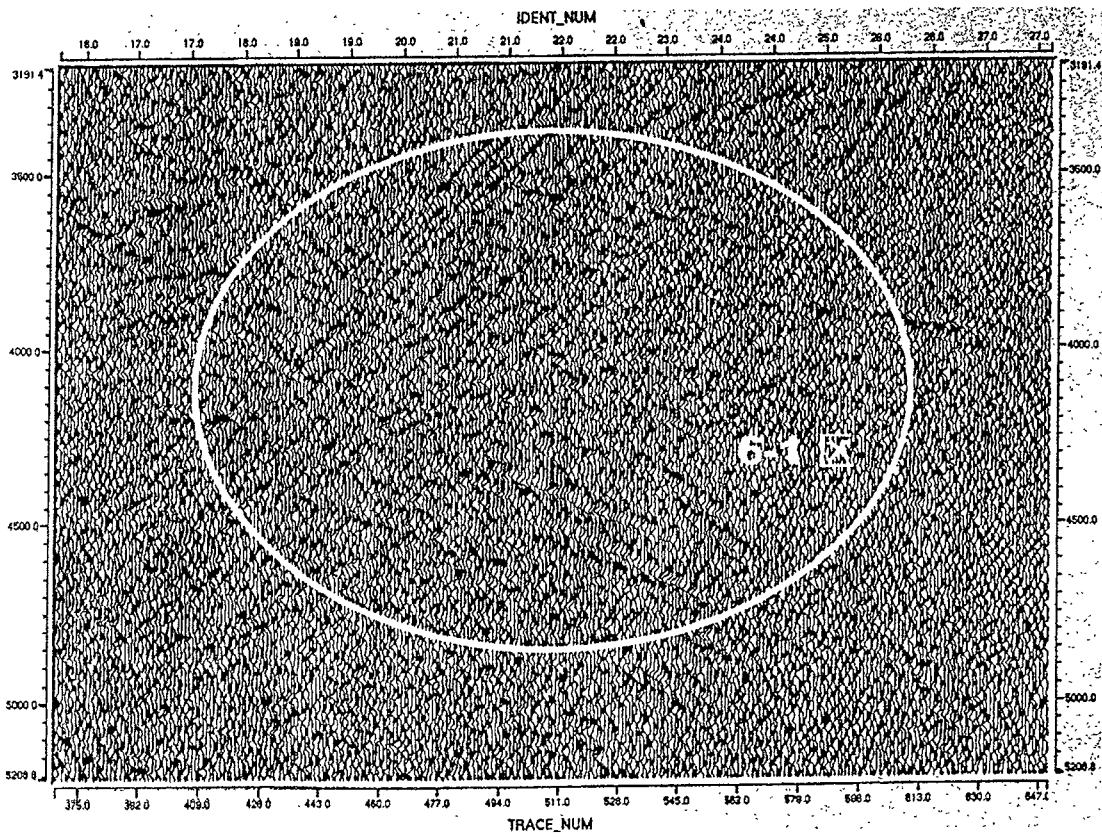


图 6

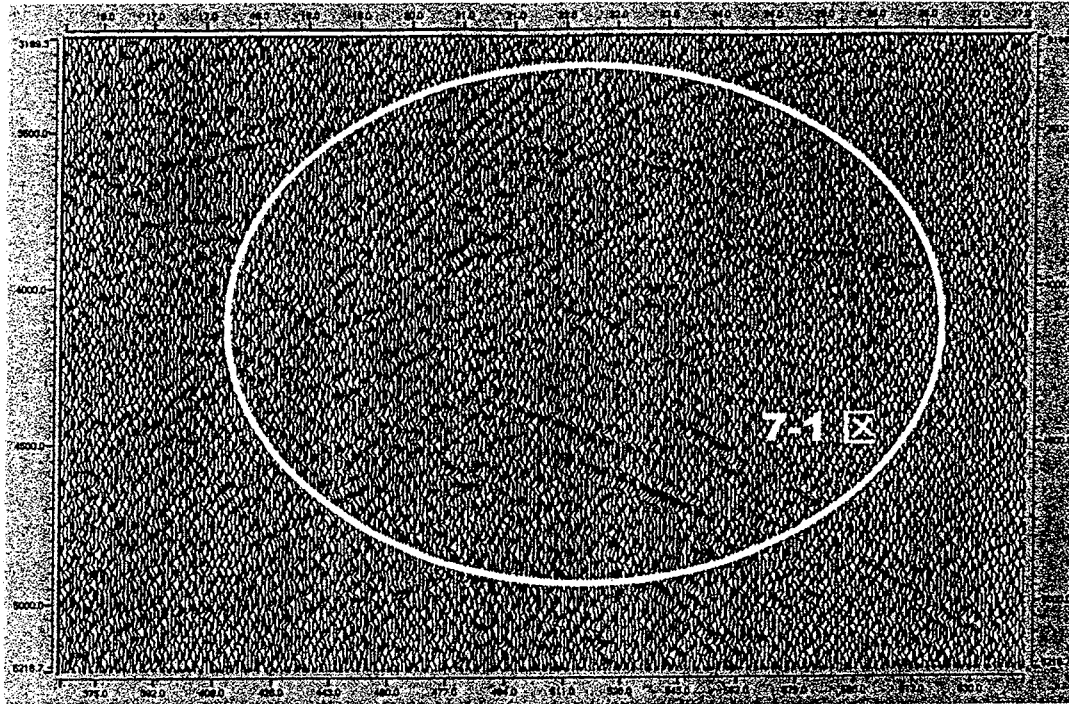


图 7

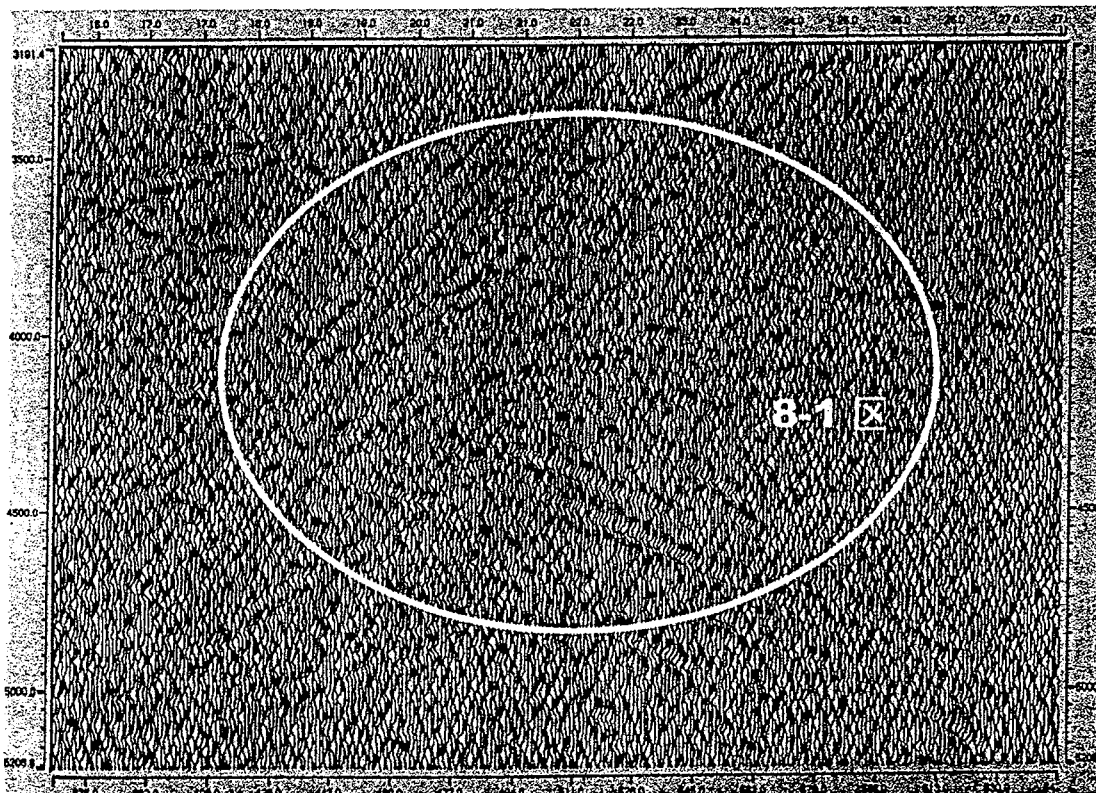


图 8



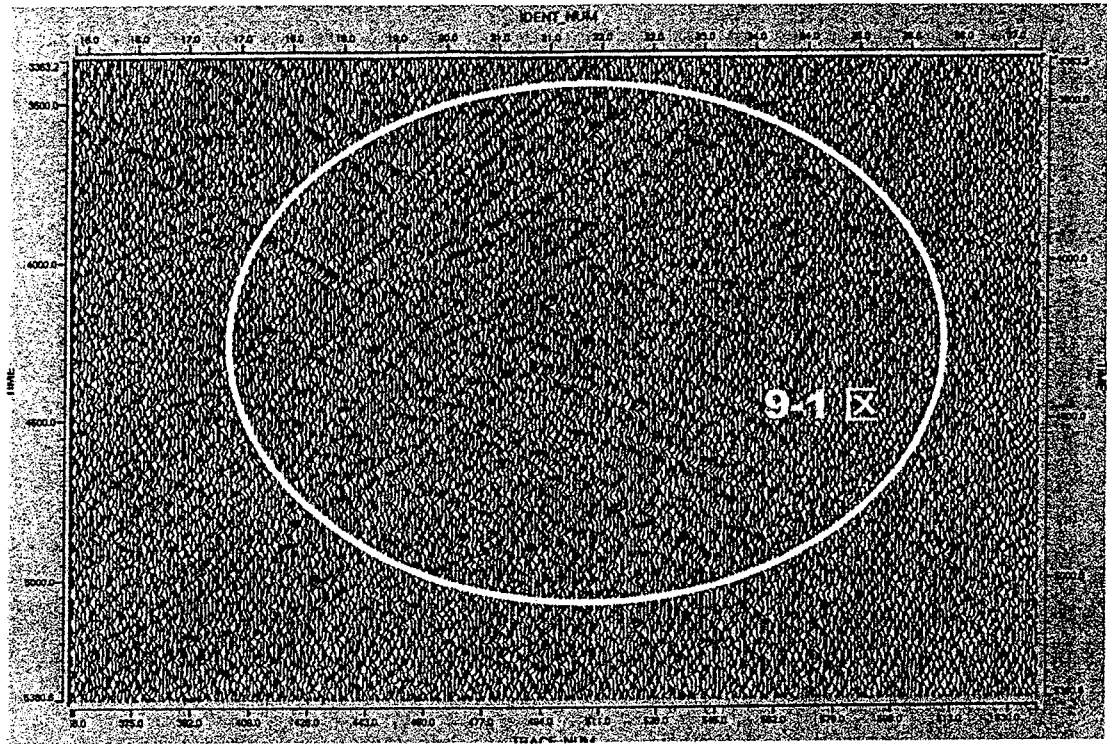


图 9

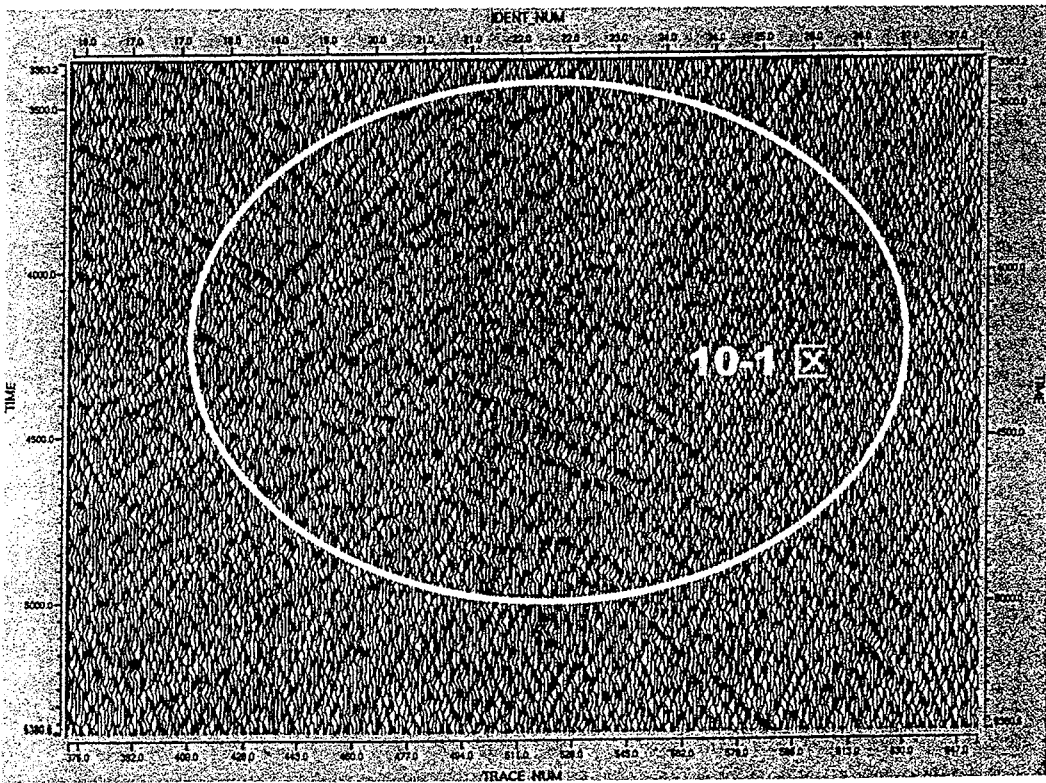


图 10

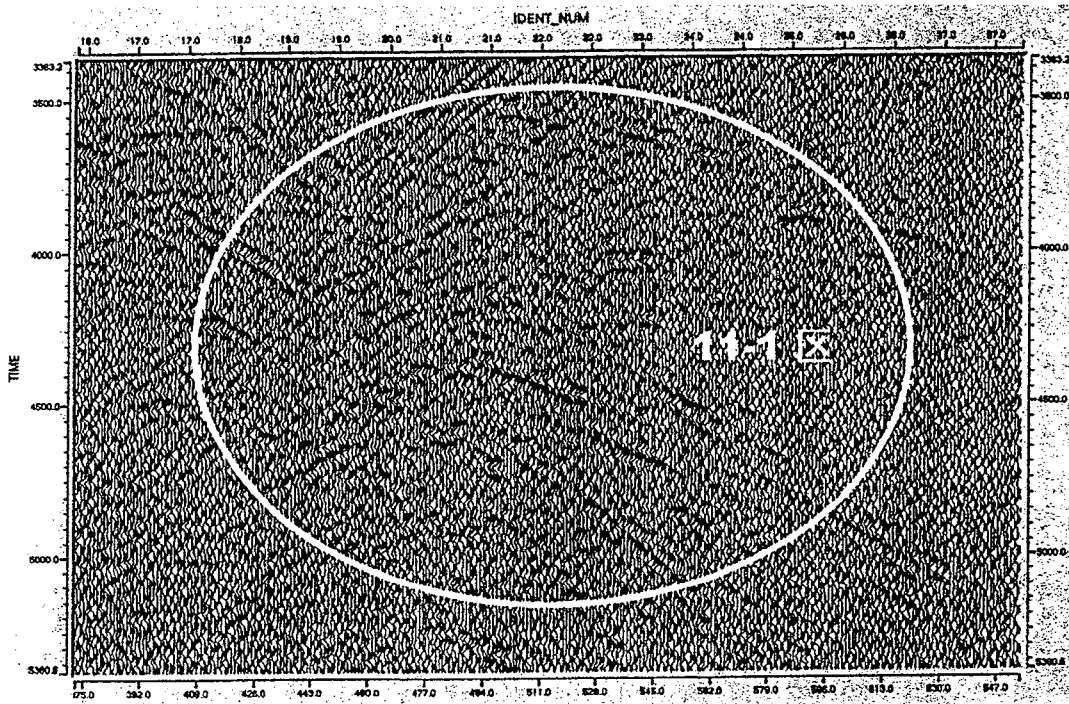


图 11

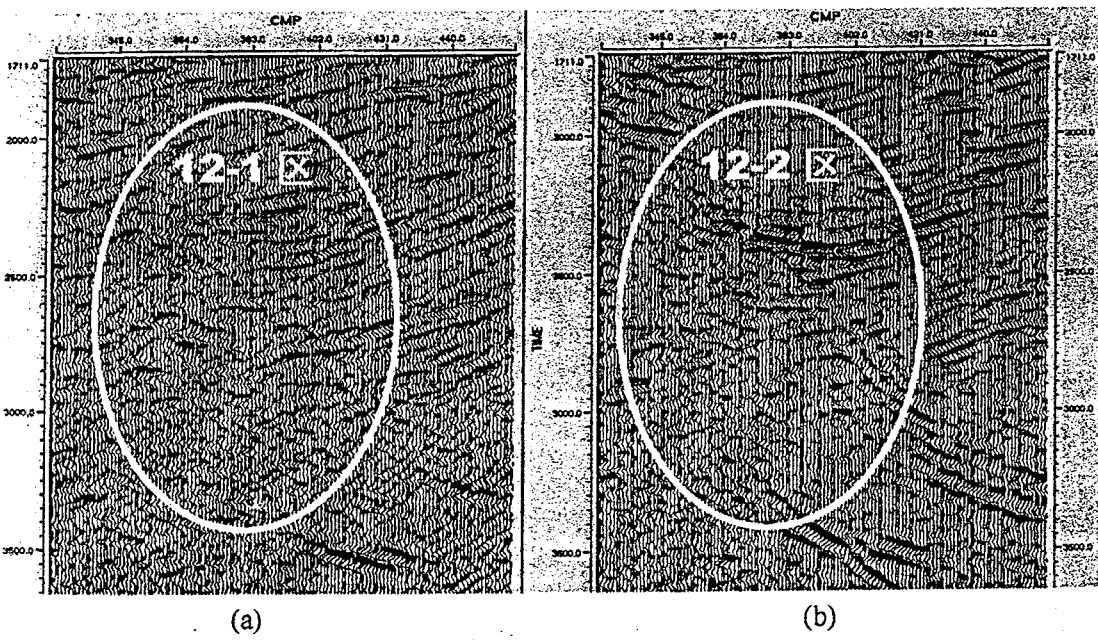


图 12

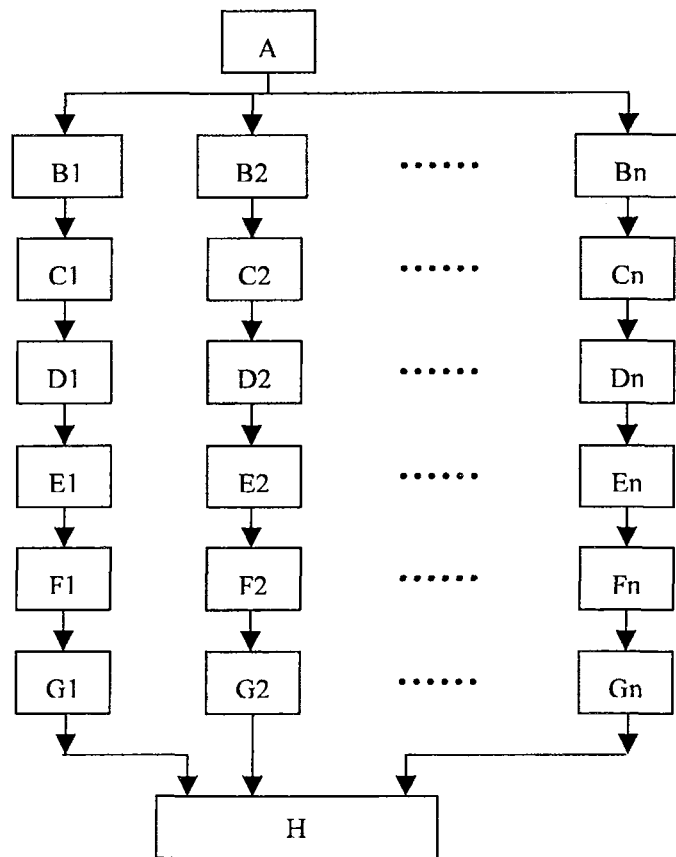


图 13