



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 97190349.2

[43]公开日 1998年7月29日

[11] 公开号 CN 1189218A

[22]申请日 97.1.2

[30]优先权

[32]96.4.12 [33]US[31]08 / 631,788

[86]国际申请 PCT / US97 / 00249 97.1.2

[87]国际公布 WO97 / 39367 英 97.10.23

[85]进入国家阶段日期 97.12.12

[71]申请人 阿莫科公司

地址 美国伊利诺斯州

[72]发明人 亚当·格兹坦考恩

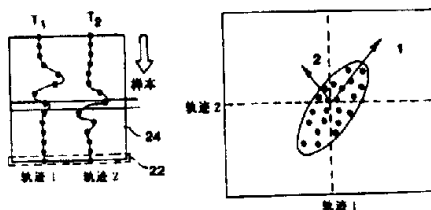
[74]专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责任公
司
代理人 郑立

权利要求书 9 页 说明书 10 页 附图页数 13 页

[54]发明名称 处理和探测地震信号的方法及装置

[57]摘要

一种用于探测碳氢化合物的方法及装置，包括步骤：获取分布在地球预定的三维体积上的地震信号轨迹分布组；将三维体积分割成多个具有位于此的至少两个地震轨迹部分的分析单元；计算每个单元内的地震轨迹向量；从这些向量形成对于每个单元的协方差矩阵；计算每个单元的协方差矩阵的主本征值和本征值之和并且由每个单元的协方差矩阵的主本征值与本征值之和的比率计算地震分布；和形成单元选择的组群的地震分布图。



权 利 要 求 书

1. 一种用于探测碳氢化合物的方法, 包括如下步骤:

a) 得到分布在地球预定的三维体积的地震轨迹组;

5 b) 将上述三维体积分割成多个的垂直堆积和一般间隔的水平时间层
并将上述时间层排列进入为大量的横向和垂直向扩展的单元, 具有至少两个地震轨迹部分的每一个上述时间层位于定义的数据矢量处;

c) 在上述单元每一上述时间层内计算上述数据矢量的向量;

d) 结合上述向量得到对于每一上述单元的协方差矩阵;

10 e) 在每一上述单元内计算上述地震轨迹的相关性度量, 其特征在于,
上述相关性度量是至少为上述协方差矩阵的最大本征值的函数; 和

f) 从多个的上述地震轨迹的上述相关性度量形成地震分布图。

2. 根据权利要求1的方法, 其特征在于, 在步骤(f)中上述图通过显示
15 相对于经过预定的地震地层的表面的上述相关性度量来形成。

3. 根据权利要求1的方法, 其特征在于, 在步骤(f)中上述图通过显示
相对于经过预定的时间线的表面的上述相关性度量来形成。

20 4. 根据权利要求1的方法, 其特征在于, 在步骤(b)中上述单元包
括具有至少位于立方内的5个地震轨迹的分析立方; 和在步骤(c)中每一
向量是以 5×5 矩阵的形式。

25 5. 根据权利要求4的方法, 其特征在于, 在步骤(b)中上述单元包
括具有至少位于立方内的9个地震轨迹部分的分析立方; 和上述数据向量
有9个元素。

30 6. 根据权利要求5的方法, 其特征在于, 在步骤(b)中上述9个地
震轨迹以 3×3 格点排列。

7. 根据权利要求1的方法, 其特征在于, 在步骤(b)中上述单元厚
度至少小于100毫秒。

8. 根据权利要求1的方法, 其特征在于, 在步骤(c)中以时间为主轴。

9. 根据权利要求1的方法, 其特征在于, 在步骤(e)中执行包括: 计算上述协方差矩阵的上述最大本征值, 计算上述协方差矩阵的上述本征值之和, 和计算上述协方差矩阵的上述最大本征值与上述本征值之和的比率。

5

10. 根据权利要求9的方法, 其特征在于, 上述协方差矩阵的上述本征值之和是通过计算上述协方差矩阵的对角元素之和形成。

10

11. 根据权利要求1的方法, 其特征在于, 在执行步骤(b)中在每一个单元中的上述两个地震轨迹的其中一个位于一个相邻的单元, 因此上述单元相互叠置。

12. 一种定位洞穴地形、断层和外形的的方法, 包括如下步骤:

15

a) 获取覆盖一个预定的地球体积的3-D地震数据, 上述数据包括具有时间、位置和振幅特征的地震轨迹;

b) 将上述体积至少一部分分割成至少一个相对小的、相邻的、叠置的、三维的分析立方, 其特征在于, 每一上述分析立方包括至少三个横向分离的地震轨迹, 和将每一个分析立方分割成多个的样本间隔, 其中每一样本间隔定义多个 1×3 数据向量;

20

c) 对作为上述数据矢量的向量形成的协方差矩阵主本征值函数的上述立方计算地震分布; 和

d) 存储用于以洞穴地形二维图形式显示的上述分析立方上述地震分布。

25

13. 根据权利要求12的方法, 其特征在于, 在步骤(c)中上述地震分布是上述主本征值与上述立方及上述协方差矩阵至少两个上述本征值之和的比值的函数。

30

14. 根据权利要求13的方法, 其特征在于, 在步骤(c)中上述地震分布是上述主本征值与上述立方及上述协方差矩阵所有对角元素之和的比值的函数。

35

15. 根据权利要求14的方法, 其特征在于, 上述地震分布被指定给分析立方的中央。

16. 根据权利要求15的方法, 其特征在于, 步骤(b)在多个的时间

切面的执行进一步包括步骤:

e) 显示经过上述分析立方及上述中央的连续时间切面的上述地震分布, 识辨相对于空间和时间的不变特征。

5 17. 一种地震探测方法, 在地震探测中3-D 地震数据包括反射的地震能量被作为时间的函数记录以产生一系列地震轨迹, 和采用计算机处理这样的地震轨迹, 该方法包括:

被计算机可读的介质和用于上述计算机执行过程的指令包括步骤:

10 (a) 在预定的体积上获取3-D 地震数据, 上述数据包括具有时间、位置和振幅特征的地震信号矢量; 和

(b) 确定上述体积及上述3-D 地震数据的邻近区域的相似性, 通过:

(1) 将上述数据至少一部分分割成相对小的、相邻的、叠置的、三维的分析立方, 其中每一上述分析立方包括至少两个数据矢量; 和

15 (2) 对以上述立方上述矢量的向量之和形成的协方差矩阵基本本征值为函数的每一立方计算地震分布。

20 18. 根据权利要求17的方法, 其特征在于, 上述介质载有使计算机执行步骤(2)来计算上述基本本征值与上述协方差矩阵本征值之和的比值的指令。

25 19. 根据权利要求17的方法, 其特征在于, 上述介质载有使计算机执行步骤(2)来计算上述基本本征值与上述协方差矩阵对角元素之和的比值的指令。

30 20. 根据权利要求19的处理方法, 其特征在于, 上述介质载有使计算机执行步骤(1)来形成具有位于此的至少5个地震轨迹的通常矩形排列的分析立方的指令; 并且其中上述协方差矩阵为至少 5×5 矩阵和至少由3个向量矩阵形成。

35 21. 根据权利要求20的处理方法, 其特征在于, 上述介质载有使计算机指定地震分布给其分析立方的中央的指令。

22. 在地震探测中其中反射的地震能量被作为时间的函数记录以产生一系列地震轨迹, 该方法包括步骤:

(a) 确定由至少两个地震轨迹形成的两个向量数据矢量;

(b) 通过增加步骤(a)的向量形成一个协方差矩阵;

(c) 计算步骤(b)的以协方差矩阵的至少基本本征值为函数的地震分布;

(d) 沿至少一个时间窗口的至少一部分重复步骤(a)到(b);

(e) 在上述时间窗口形成上述地震分布的一个图。

5

23. 根据权利要求22的方法,其特征在于,在步骤(c)通过计算上述基本本征值与至少上述协方差矩阵的本征值之和的一部分的比率来执行。

10

24. 根据权利要求22的方法,其特征在于,在步骤(c)通过计算上述基本本征值与至少上述协方差矩阵的对角元素之和的一部分的比率来执行。

15

25. 根据权利要求22的方法,其特征在于,步骤(d)通过从先前的步骤(a)操作使用至少一个地震轨迹和至少位于相邻于上述至少一个地震轨迹的两个新地震轨迹。

26. 根据权利要求22的方法,其特征在于,步骤(a)包括步骤:

20

(1) 在预定的地球体积上获取3-D地震数据,上述3-D地震数据具有时间、位置和振幅特征;和

(2) 将上述体积一部分分割成包含相对小的、叠置的、包括上述至少两个地震轨迹的三维分析立方的排列的至少一个时间窗口。

27. 一种地震探测方法,包括如下步骤:

25

a) 读取包括在地球体积上地震信号轨迹分布的3-D地震数据组;

b) 从上述体积选择至少一个地层切面并形成以横向扩展行和列排列的单元,每一个上述单元包括至少3个一般扩展的地震轨迹;

c) 计算每一上述单元:

30

(1) 数据矢量向量由多个的在上述单元中央每一边的时间间隔定义;

(2) 由步骤(1)上述向量的协方差矩阵;

(3) 上述协方差矩阵至少最大的本征值;和

d) 沿上述至少一个地层切面检查上述单元上述本征值。

35

28. 根据权利要求27的方法,其特征在于,步骤(3)是通过显示经过至少一个水平时间切面的上述单元的上述最大本征值图象而被执

行。

29. 根据权利要求28的方法,其特征在于,图象是上述单元上述协方差矩阵之和及上述单元上述最大本征值的函数。

5

30. 一种地震探测方法,在地震探测中反射的地震能量被作为时间的函数记录以产生一系列地震轨迹,其方法包括步骤:

(a) 将3-D地震数据安排在相对小的、叠置的、包括多个地震轨迹的三维分析立方内;

10

(b) 确定由上述分析单元定义的数据矢量的向量;

(c) 对每一立方通过增加步骤(b)的上述向量形成一个协方差矩阵;

(d) 计算以协方差矩阵的所有本征值之和与每一协方差矩阵的基本本征值比率为函数的地震分布;和

15

(e) 安排上述地震分布作为一个图来显示。

31. 一种装置,包括:

用于一个过程的载有指令的计算机可读方法包括步骤:

20

(1) 把覆盖地球预定体积的3-D地震数据读入存储;

(2) 把上述3-D地震数据数字分类给相对小的三维单元排列,其中每一上述单元包含至少三个地震轨迹;

(3) 从由多个的上述至少三个轨迹形成的协方差矩阵的本征值计算每一上述单元相关值。

25

(4) 存储用于显示由上述相关值表示的与洞穴地形二维图形式相同的上述单元上述相关值。

32. 根据权利要求31的装置,其特征在于,在步骤(3)中上述相关值至少是上述协方差矩阵的最大上述本征值的函数。

30

33. 根据权利要求32的装置,其特征在于,上述相关值是上述本征值之和及上述最大本征值的函数。

34. 根据权利要求32的装置,其特征在于,上述计算机可读方法是从包括磁盘、磁带、光盘和CD-ROM等组中选择的。

35

35. 一种定位洞穴地形、断层和外形的的方法,包括如下步骤:

- a) 获取覆盖一个预定的地球体积的地震数据;
- b) 将上述体积分割成相对小的三维单元排列, 其中每一上述单元具有至少两个位于此的地震矢量;
- c) 从上述数据矢量的向量计算一个协方差矩阵;
- 5 d) 绘制上述协方差矩阵的本征值图象。

36. 根据权利要求35的方法, 其特征在于, 步骤(c)是通过使用增加多个向量形成协方差矩阵而被执行。

10 37. 根据权利要求35的方法, 其特征在于, 步骤(d)是通过绘制本征值之和与最大本征值的比率而被执行。

38. 一种预测碳氢化合物沉积的方法, 包括如下步骤:

15 a) 得到用于地球预定的三维体积的3-D地震数据相关值的地震分布图, 上述图通过使用计算机得到并且一种用于引导上述计算机的程序执行下面步骤:

(1) 读取上述数据并将上述体积分类到相对小的三维单元的排列中, 其中每一上述单元具有至少两个位于此的地震数据矢量; 和

20 (2) 对以上述数据矢量的向量形成的协方差矩阵的本征值为函数的上述地震轨迹计算每一上述单元相关值。

b) 使用上述图识辨地表下结构和通常与捕获和存储碳氢化合物相联系的沉积特征。

25 39. 根据权利要求38的方法, 进一步包括使用上述图以识辨钻探危险性。

40. 根据权利要求39的方法, 进一步包括在步骤(b)中识辨位置的钻探步骤。

30 41. 根据权利要求38的方法, 其特征在于, 上述程序引导上述计算机执行步骤(a)(2), 通过:

(i) 计算每一协方差矩阵的最大本征值和上述协方差矩阵本征值之和; 和

(ii) 计算上述最大本征值与上述之和的比率。

35 42. 根据权利要求41的方法, 其特征在于, 在步骤(i)中上述程序

通过计算上述协方差矩阵对角元素之和引导上述计算机计算上述本征值之和。

43. 一种通过一个处理方法准备的地震图, 包括步骤:

- 5 (1) 通过计算机方法, 得到包括分布在预定的三维地球体积的地震信号轨迹的数据组;
- (2) 将上述三维体积分割成多个以时间和空间排列的单元, 每一个上述单元具有位于此的多个数据矢量;
- (3) 在每一个单元中计算由位于此的数据矢量形成的向量;
- 10 (4) 结合上述向量形成每个单元的矩阵;
- (5) 计算上述矩阵的主本征值和上述矩阵对角元素之和; 和
- (6) 显示上述相对于经过一个预定表面的单元预定组群的每个矩阵之和的最大本征值。

15 44. 根据权利要求43的地震图, 其特征在于, 步骤(6)通过得到上述主值与上述通过上述预定的表面的单元的上述预定组群的每个上述矩阵之和的比率而被执行。

20 45. 根据权利要求43的地震图, 其特征在于, 步骤(2)中每个上述数据矢量具有至少三个元素。

46. 根据权利要求43的地震图, 其特征在于, 步骤(4)通过将上述向量相加而被执行。

25 47. 一种石油和气体的探测图, 包括:

- a) 一种用于记录可视图象的平板介质; 和
- b) 在由代表3-D地震探测的数据矢量的运行窗口的向量形成的协方差矩阵的主本征值为函数的介质上的多个图象。

30 48. 根据权利要求47的图, 其特征在于, 上述图象是作为上述主本征值与上述协方差矩阵的本征值之和的比率的函数。

49. 根据权利要求47的图, 其特征在于, 介质是阴极射线管的面。

35 50. 根据权利要求47的图, 其特征在于, 上述图象是作为上述主本征值与上述协方差矩阵的对角元素之和的比率的函数。

5 1. 根据权利要求47的图,其特征在于,每个运行窗口包括一个由至少三个时间层的堆积的分析立方;其中每个时间层包含一个数据矢量;和其中上述数据矢量包括至少三个地震轨迹元素。

5 2. 根据权利要求51的图,其特征在于,本征值被指定给每个分析立方的中央。

5 3. 一种通过一个处理方法形成的探测图,包括步骤:

10 a) 由3-D地震数据的数据矢量形成的相关立方,上述相关立方包括一个至少作为以上述数据矢量协方差矩阵主本征值为函数的相关值的三维排列;和

b) 根据预定的传递标准在表面上显示上述相关值作为图象。

15 5 4. 根据权利要求53的图,其特征在于,相关值被指定给通常与上述数据矢量元素一致的三维坐标中。

20 5 5. 根据权利要求53的图,其特征在于,在步骤(b)中上述表面是平板平面并且上述预定的传递标准是上述平板平面为通常与通过3-D地震数据的时间切面相一致。

5 6. 根据权利要求53的图,其特征在于,在步骤(a)中每个相关值是至少为上述主本征值和各自协方差矩阵的本征值之和的函数。

25 5 7. 一种被计算机工作站使用并用于石油和气体探测的装置,包括被计算机可读的介质和包含相关立方的图象,上述相关立方包括3D地震数据相关测量,每个上述测量为由两个地震数据矢量的至少两个向量相加形成的协方差矩阵本征值的函数。

30 5 8. 根据权利要求57的装置,其特征在于,上述数据矢量具有空间和时间坐标特征;和其中相关的上述测量被指定给空间和时间坐标。

5 9. 根据权利要求58的装置,其特征在于,每个上述测量为至少各自协方差矩阵主本征值的函数。

35 6 0. 根据权利要求59的装置,其特征在于,每个上述测量为至少本

征值之和的函数。

说明书

处理和探测地震信号的方法及装置

5 本发明总体上涉及一种地震信号探测方面的内容,尤其涉及一种通过在三维空间中识辨地层的结构和特点来对石油和气体进行探测和开发的方法和装置。

10 在地震探测中,沿着由陆地检波器组合或水上射光横向地震检波器组成的按线获取地震数据。地震检波器和水中地震检波器作为接收传递到地面并从地表下岩石的介面反射到表面的能量的传感器。能量通常由通过以一预定的间隔和频率摇动大地来把脉冲传递到表面的 Vibroseis[®] 传运器提供到岸上。在水上的情况,通常采用气枪源。返回表面的能量的细微改变通常反映储库的地层、结构和流量。

15 在进行三维(3-D)地震探测中,原理是类似的,但是按线和阵列排的越密,就可提供越详细的地下覆盖面。对于这种高密度的覆盖,在最后的的数据结果分析之前需要记录、储存和处理大量的数字数据。处理需要广泛的计算机资源和复杂的软件以加强从地下接收到的信号并抑制掩蔽信号的伴随噪声。

20 一旦数据被处理,地球物理工作者以能够有效地表示地下结构显示的3-D数据立方(见图1)的形式汇编并分析地震信息。利用计算机工作站,解译员还可以将地层切片以不同的地震层研究库区问题。利用地震或信息源的数据还可以在任何方向进行竖直切片或分区。可把时间图转换成深度,以在特定的水平上提供结构的分析。

25 传统上为了用图象表示地震回波而去获取并处理地震数据。但是,由于在截面上显示的地层特点信息量有限,地层上的变化通常很难用传统的地震显示来探测。虽然这些观点提供了一个观察这些结构的绝大部分的机会,但要在没有记录到断层回波的3-D空间内识辨断层是很困难的。

30 相关和相似(一种多波道相关测量)是两个地震轨迹相似性或相异性测量。当两个地震轨迹的相关性增加,它们就越相似。在一个由0到1的尺度上指定一种相关测量时,“0”表示最大的缺少相似性,而值“1”

表示全部或完全的相似性（即两个理想轨迹）。多于两个轨迹相关性可类似定义。

5 计算相关性的一种方法是由 Bahorich 和 Farmer (Amoco 公司指定) 在以序号 08/353,934 和 1994 年 12 月 12 日为申请日的美国专利申请中公开。一种用于计算相似的方法是由 Marfurt 等 (Amoco 公司指定) 在以申请号 60/005,032 和 1995 年 10 月 6 日为申请日的美国专利申请中公开。Marfurt 等的发明包括一个在后选倾角和方位角的强力搜索。

10 两种方法的优点已得到证明,但它们同样具有一些局限性。改进结果和计算速度总是期望的。

15 根据本发明,公开一种更为健全的多轨迹本征分解方法,它具有比原有已知方法较高的分辨率。在本发明的一个实施例中,公开了一种用于探测气体和石油的方法。方法包括下列步骤:搜集供给预定的地球三维体积的地震信号轨迹数据集;在运行的窗口决定的从至少两个地震轨迹形成的至少两个数据矢量的向量;通过增加向量形成协方差矩阵;计算作为协方差矩阵的至少主本征函数的地震特征;和形成从至少一部分预定的地球三维体积计算的地震特征的图象。

20 在本发明的另一个实施例中,本发明方法在用于引导计算机操作到计算地震特征的计算机可读介质(如磁盘、磁带、CD-ROM,等等)上编码。在本发明的另一个实施例中,图象从上面描述方法准备并被用于气体和石油沉积的定位。

25 本技术尤其适合解释 3-D 地震体积内的断层面和探测细微的 3-D 地层特征。这是因为被断层线切割的地震轨迹在断层两边一般较之地震轨迹具有不同的地震特征。沿时间切面测量地震轨迹相似性(即相关或 3-D 连续性)揭示沿断层线的低相关的特征。这样的相关值可揭示对于传统地震截面不显著的临界地层下表面细节。同样沿一系列时间切面计算相关性,这些断层特征确定了断层面或表面。

30 从下面的本发明的详细描述、实施例的描述,从权利要求书和从附图所表明,本发明其它大量的优点和特征将变得更为显著。

图1表示从处理3-D地震数据中得到的信息图示；
图2是根据现有技术中处理的3-D地震数据的水平时间图示；
图3是两个相邻的地震轨迹图示；
图4到图8是根据本发明的一对地震轨迹的相关性曲线；
图9是表示运行窗口分析立方的图示；
图10A、10B和10C为地震轨迹群的图示；
图11A、11B和11C为两维分析窗口的图示；
图12是基本方法流程图；和

图13A、13B和13C是根据Bahorich等、Marfurt等发明
和本发明相同水平时间切面图示。

当本发明可以有許多不同形式的实施例时，几个特定的本发明实施例
在图中表示和将详细描述。可是应该明白，本发明的公开考虑了本发明原
理的例证和不期望把本发明限制为所描述的特定实施例或算法。

在描述本发明方法之前，将描述操作的基本原理。

在给定的欲检验相关性的N个样本的时间窗口或深度窗口考虑两个
轨迹 t_1 和 t_2 。在图3中表示轨迹和相关分析窗口的代表性曲线。第一轨
迹 t_1 包括时间序列 $(t_{11}, t_{12}, \dots, t_{1N})$ 和第二轨迹 t_2 包括时间序列
 $(t_{21}, t_{22}, \dots, t_{2N})$ 。在这两个时间序列中，第一个下标表示轨迹数(即，
轨迹1或轨迹2)，而第二个下标表示样本数。

通过在同样的二维笛卡尔坐标系中绘制对应于另一个的轨迹，可更好
地理解本发明的文中得到的相关性的含义。从两个轨迹绘制等同的时间样
本(即，点对 $(t_{11}, t_{21}), (t_{12}, t_{22}), \dots, (t_{1N}, t_{2N})$)，产生一个交叉的
两个时间序列。令x轴表示第一轨迹 t_1 和y轴表示第二轨迹 t_1 ，结果绘
于图4中。这是通过这些点表示两个轨迹相关的点形成的图形。

这两个相关轨迹的一般形状是通过椭圆形表示的点集。这个椭圆形是
广义的因为它不代表每一单个点但是描述了所有点的“全部”特征。这个
椭圆的长轴和短轴将指向由对点的几何学决定的方向。两个轴的长度同样
由几何学决定。表示这些点的典型代表和对应的椭圆由图5表示。

椭圆长轴和短轴的方向和大小通过长矢量沿长轴指向和短矢量沿短
轴指向的两个比例化的矢量表示。这两个矢量大小对应于数据协方差矩阵

两个本征值和规一化的矢量对应于本征矢量。由各自本征值比例化的本征矢量表示长轴和短轴的大小和方向。“基本分量”对应于与主要本征值相联系的本征矢量。

5 附图（图6到图8）期望给出对以前讨论中隐含的力学的本质理解。在这些图中，使用简单的振幅和相位变化建立了轨迹，以及观察到这些变化对相联的本征值和本征矢量的作用。

10 图6表明两个相同的轨迹退化为一一条45度的线（即，具有短轴的椭圆退化为零）。“零长度”表示第二本征值为“零”和表示对应于主本征值的本征矢量与长轴准直。当值为1时，相关性最大。

15 具有相等的振幅和45度相位差的两个轨迹的情况在图7中表示。表明了相位转换如何把长度变为短轴和因此增加了第二本征值的大小。同样表示了通过各自本征值两个本征矢量被比例化。由于这些轨迹中的差异，相关性值降到小于1。

20 最后，在图8中容许相位和振幅变化。两个轨迹具有45度相位差和2:1振幅比。得出的椭圆有一个非零的短轴（第二本征值非零），反映了相位差。另外，由于振幅差异椭圆和本征矢量被旋转。再则，相位和振幅产生相关性的下降。

25 前述的要点是渐进给出相关可作为本征值 λ_1 和 λ_2 ，和本征向量 v_1 和 v_2 的函数。相关的函数表示为：

$$\text{相关} = f(\lambda_1, \lambda_2, v_1, v_2) \quad (1)$$

30 两个轨迹的过程可容易地扩展为任意数量的轨迹。从实际的观点出发，随着轨迹数的增加计算负担加重以及可得到的计算资源受到限制。对于一个3-D地震数据集，分析可在空间和时间（或空间和深度）内的移动或运行分析窗口重复，结果为在移动窗口中央测量相关。输出结果是包含由原有的数据体积定义相关值的3-D数据集。

35 本方法的一个优点是不同方面数据在本征值和本征向量中被分配，这将从下面的讨论变得更加清晰。信息如振幅和位相可用健全和严密的方式被分析和处理。例如分辨率可通过控制本征值和本征向量而得到改进。其

好处可在计算相关切面中看到。根据本发明的相关值的另一个重要方面是它们对于原有数据不连续表现敏感和揭示细微的地质特征，如断层和沟渠。

5 回到本发明方法，第一步骤是得到或取得一组三维的地震数据。这样的数据是以分布在地球三维体积上的地震信号轨迹形式。处理诸如 3-D 地震数据的获取和降低为数字形式的方法是在本领域技术人员熟知的。这样的数据可通过在土地测量或海洋调查专业的地球物理方面的商人获得。这样的数据还通过商人出售或得到商人许可以及通常通过磁带传递或
10 存储以输入地震工作站的存储中。

下一步骤是把 3-D 数据集分解为许多的单元或分析立方 20（见图 9）。这些立方 20 起着分解或把地震数据存储进组群或单元中以便进一步处理。结果是，一个分析立方总括了整个地震数据集或 3D 数据立方
15 30。每一分析立方 20 包括一个一般的平板矩形时间层 22 的堆积。

为了简化之目的，3-D 数据立方 30、分析立方 20 和时间层 22 以直角的平行六面体或立方形式表示（一般为一个“单元”）。本领域中的这些技术在重复操作 3-D 数据集时倾向于矩形几何的简化。其它几何学和单元形状是可能的并在某些情况下是可以得到保证的。
20

回到图 10，每一时间层 22 或堆积具有通过的地震轨迹 t_1 （只给出了一个以避免图形混乱）的一部分。以 3×3 等间距排列的 9 个轨迹，在图 9 中给出。也可使用以星状的 5 个轨迹（见图 10A）或三个轨迹（见图 10B）。最好是对称排列。每个时间层中 9 个轨迹通常比 3 个轨迹要好。至少要用 2 个轨迹。
25

为帮助图解本发明概念，读者可参考图 11A 和图 11B。尤其是，在 9 维（如 9 个轨迹情况）中图解通常很困难。在图 11A 和图 11B 中，两维的运行窗口 24（或分析窗口）只给出包含的两个轨迹 t_1 和 t_2 。每一轨迹（见图 11C）包括一个 N 个样本的时间序列
30

$$t_1 = (t_{11}, t_{12}, \dots, t_{1N})$$
$$t_2 = (t_{21}, t_{22}, \dots, t_{2N})$$

35 图 11C 的分析窗口将被分成多层垂直堆积的矩形时间层 22。

应当明白，在处理选择窗口尺度和距离之前，要在分辨率和稳定性之间权衡。换言之，在参数估计中小的分析窗口或立方容许高的空间或时间频率，但给出小的统计稳定性或对于这些估计较少的自由度。另一方面，非常大的窗口具有低分辨率和趋于模糊数据以致于重要的地质特征被丢失。

回到图 11 C，每个时间层 22 内的数据点定义地震数据矢量（此处为 1×2 矩阵， $N=2$ ）。如此，图 11 C 的两维时间层（或图 9 的三维时间层）形成或定义矢量窗口。因此，9 轨迹 ($N=9$) 将得出具有 9 个元素的数据矢量。

在每个矢量窗口或时间层 22 中的数据矢量的外乘积产生了一个 $N \times N$ 矩阵。因此 9 元素数据矢量给出了 9×9 矩阵。相加这些矩阵（一个矩阵对每个矢量窗口）产生一个对于整个分析窗口 24（或分析立方 20）的 $N \times N$ 协方差矩阵。因此如果分析立方包括 9 个时间层，则 9 个 $N \times N$ 矩阵加在一起形成了一个 $N \times N$ 协方差矩阵。

根据本发明，通过计算协方差矩阵本征值得到一个非常有用的和非显而易见的轨迹相关性方法。尤其是，计算了协方差矩阵最大或主要本征值和协方差矩阵本征值之和。这两种数字的比率表示了与本征值之和相关的主本征值的大小。同样还表明在分析立方中轨迹的变率。一个有用的地震分布可用数学式子来表示：

$$\frac{\lambda_1}{\sum_{i=1}^N \lambda_i} = \psi \quad (2)$$

其中 λ_1 是协方差矩阵本征值， λ_i 是主本征值。因此， ψ 是为地震数据矢量的点元素正确程度的指标（见图 4 和 5）。

协方差矩阵的每个和所有本征值不需要计算表示。本领域的技术人员知道已有的计算主本征值的方法（例如乘方法、Rayleigh 系数、（两个中较快者）、等等）。而且，还知道协方差矩阵对角线元素之和等于协方差矩阵本征值之和。为方便起见，方程(2)的比率（即，相关性）可被指定为分析立方 20 或分析窗口的中点。应该理解，使用主本征值的一个优点是其趋于更直接表示分析窗口内的轨迹变率。主本征矢量将不是变率

(即, 相关) 的度量。

5 在进行相关性的度量时, 分析立方 20 或分析窗口 22 有效地扫描
(即, 横向和垂直向) 图9 所示的整个3-D 体积或图11A 的所有轨迹。
最好是相邻的分析立方 20 或矢量窗口 22 相互叠置(见图 11A 的窗口
24、24' 和 24")。叠置改进了空间分辨率。

10 扫描整个3D 数据体积30 的分析窗口20 和方程(2) 相关性程度指
定的结果是在每个数据矢量的位置沿每个轨迹分配的相关值的排列。如
此, 3D 数据体积被转换成一种3D “相关立方”。

15 包含在相关立方中的相关度量的数据是通过以地震分布图的形式显
示相关数据而得到更方便的解释。这样的图常常采用沿通过相关立方表面
的相关值显示的形式。两个例子分别是通过普通水平时间切面的平板, 和
通过由地震解码器选择的地震地层线的曲面。另一个例子是地质沉积时间
的线性表示以便从相同的地质年代捕获特征。

20 当以灰色阴影(如, 白色表示高相关性和黑色表示低相关性) 或另一
彩色标尺来显示, 相关值容易被显示而被解释。(见美国专利US Patent
4,979,699 “用于彩色绘制地球物理数据的方法”)。

25 例如, Landmark 和GeoQuest 解释工作站通过载入作为地震
体积的相关立方可用于显示和解释断层和地质学特征。这样的工作站通常
被本领域的技术人员使用。未处理的3D 地震数据通过磁带或磁盘方法可
被方便地载入工作站, 这些磁带或磁盘被指示计算机执行上述程序的指令
所编码。可视软件(如, Landmark's SeisCube 软件) 可通过相
30 关立方快速切面以帮助理解复杂的断层关系。包括以地震分布图印刷输出
的相关显示, 当用于选择何地震线可解释时, 可减少解释循环时间, 使得
解码器围绕弱数据区工作。另外, 对于传统地震显示不明显的细微的地质
学特征和复杂的断层, 可很快得到证实和解释。

图 13A、13B 和 13C 提供了通过另外的处理和根据本发明的相
同地震信息显示和处理的比较。差异是显著的。

35 当然, 本发明方法通常很方便地通过编写计算机程序来执行和完成刚
才描述的步骤。这样的处理被先前确认的工作站日常执行。

一个基本的处理方法流程图示于图12。在本发明的一个实施例中，用FORTRAN 77编写的软件程序执行刚才描述的过程。3-D地震数据被写入存贮中。根据得到的地震数据的大小和内容，执行起始步骤32，
5 程序参数初始化，数据区间建立，进行基本检查，和设定窗口大小。读出错误或读出用户选择路径。下一过程34开始。尤其是，子程序36被调入扫描具有一个分析立方的数据体积。在每一分析立方中，子程序38计算协方差矩阵，在另一个子程序40计算主本征值，本征值之和及综合的相关值。最后，结合步骤42和计算值的结果以相关立方的形式被存储在
10 步骤44。因此，工作站操作员可得到相关立方用于在CRT46显示选择点（例如，通过立方的时间切面），以产生印刷输出或地震分布图48，开始进一步分析或传递给存储或磁带50以便在其它地方进一步处理。

15 由于要考虑到被3-D测量覆盖的区域地层学和地质学的已知部分，本领域的技术人员要小心使用本发明的方法。

相关图在几个3-D测量中被运行。在合理的数据质量当中，大约90%的断层可被确认。在相关图上被识辨的断层在地震部分非常细微，但是清晰地展现在相关图中，因为方法较为健全和图象展现了断层图形。因为
20 相关图可在未解码的时间切面运行，本发明提供了一种结构框架的最大加速绘图和揭示断层关系细节的方法，否则只有通过长时间的断层探测才被解码。

特例

25 相关图沿探测到的地层产生并清晰地识辨挤入海上的盐/页岩。

在其它地点利用本发明的方法清楚地标识火山泥浆和气体。

几个时间相关切面显著地表示了地层特征，如废弃的河道、泥石流、
30 尖沙洲和海底峡谷。在地震剖面上这些特征有时明显，但在有些情况下即使近距观察也不能识辨。

35 本发明，类似于Bahorich等和Marfurt等的发明，提供了一种在3D体积中揭示断层平面方法，而在3D体积中没有记录断层反射。断层通常对于石油的积累非常重要。一个断层通过切断地形结构或地层结构可形成一个隔离层，使得石油再次被断层包围。另一方面，如果断层平面

包含没有完全结成的石块，它将形成流体的沟渠。这将容许碳氢化合物沿断层平面漂移进入地形并被包围或通过沿断层平面漂移出去。因此，例如断层线可预告储库中的流动图象并在喷口和产油井之间联系。

5 地震的不连续性还可提供与油井之间储库预测的必然联系和建立储库连续性以及沿油田的流动图象。相关技术可被用于地表下结构和沉积学地形如断层、盐的挤入、不相称性、沟渠系统、岩溶和通常与捕获和储存碳氢化合物相联系的碳酸盐礁表面的寻找、识辨和绘图。因此，本技术有助于碳氢化合物的寻找、分离和生产。另外，它用于识辨浅和深的钻探的危险性（例如，气体离地面很近的地方或不稳定的地方）。另一个例子是应用本发明来寻找已知的储库或地下洞穴的泄漏路径。

10 3-D 地震的相关绘图是用于结构和地层学绘图的功能极其强大和非常有效的工具。新方法对于小波特征的横向变化尤其敏感，并且对于小波中横向变化的普通原因（例如，断层位移或地层变化）尤其敏感。因此，本主题发明围绕一种处理方法，及其以计算机指令形式被记录的装置、该方法的产物（如，绘图）和用于气体和石油探测的产物的手段。

20 由前述，对于本领域的技术人员，可发现大量的变化、替换和改进是显而易见的。因此，本描述可只作为解释以及用于告诉本领域的技术人员完成本发明的方法。例如，地震轨迹被描绘成等间距。不等间距的轨迹（见图 10C）通过插值可方便转化为等间距。如另一个例子，对于滤除形成数据矢量的轨迹以分隔远离部分是有用的。中等滤除可用于每一数据矢量元素的分类。切除边缘可达到进一步的平滑。

25 另外，其它算法可用于测量地震数据邻近区域的相似性或产生“相关立方”。相关值或方程(2)的地震分布用作在地质方程内信号不连续性以及沿断层截面和风化的不一致性的更为健全的估算或计算。本方法还建议协方差矩阵本征值的其它结合（如算术平均、平方根平均、平均、中值、平方之和的平方根、平方积的平方根、最小、最大、和、积，等等）。另外，本发明过程可与其它分布（如，AVO 斜面）相结合并且应用于多向量地震数据。

35 本发明某种特征还可独立用于本发明的其它特征。例如，根据本发明识辨的地质特征可与速度图叠置以提供交叉检查速度的方法。

此外，相关切面图是功能非常强大的绘图工具，当与振幅的勘测绘图和倾角图结合使用时，在用易于获得的 3-D 地震数据对墨西哥湾或类似盆地绘制的效果有希望成为该技术里程碑。可以相信，通过以地图的角度绘制并通过较少的传统逐线择取将会加速结构和地层的详细绘制。以地图的角度解释“勘测”数据在解释的质量和数量上提供了显著的改进。另外，本发明的处理方法将随之加快速度。当这种勘测成为可能时，这种速度有助于迅速作出投标的选择。

最后，还应理解本发明的原理也可同样地用于其它领域（如声波定位仪，在这种情况下传感器是音响装置并且信号源是敌方的潜艇；地震和核武器引爆探测系统，在这种情况下，传感器是测震设备而信号源是地震或爆破震中；天文干涉仪，其中的传感器应是无线天文望远镜而信号源应是遥远的星系或类星体；相控阵雷达，其中的传感器应是阵列天线），其中信号（如雷达，声纳，无线频率能等）被处理形成图象或在由这些图象代表的结构中的位置变化。

因此，应该理解可以在不脱离如所附的权利要求限定的本发明实质和范围内作各种修改、变化。当然包含在权利要求范围内的所有的这些修改也被所附的权利要求所覆盖。

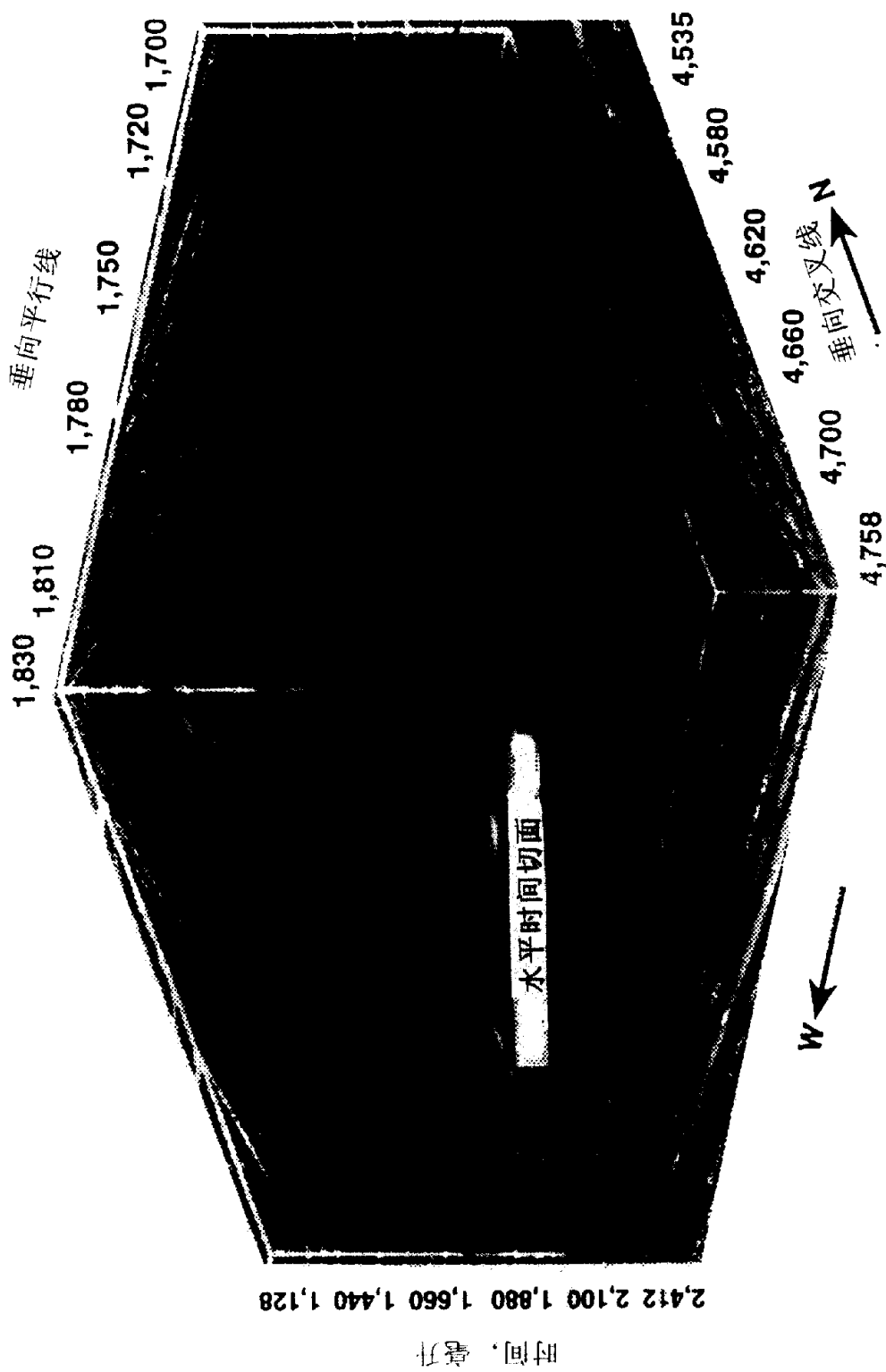


图1

振幅时间切面
时间=944ms



图 2

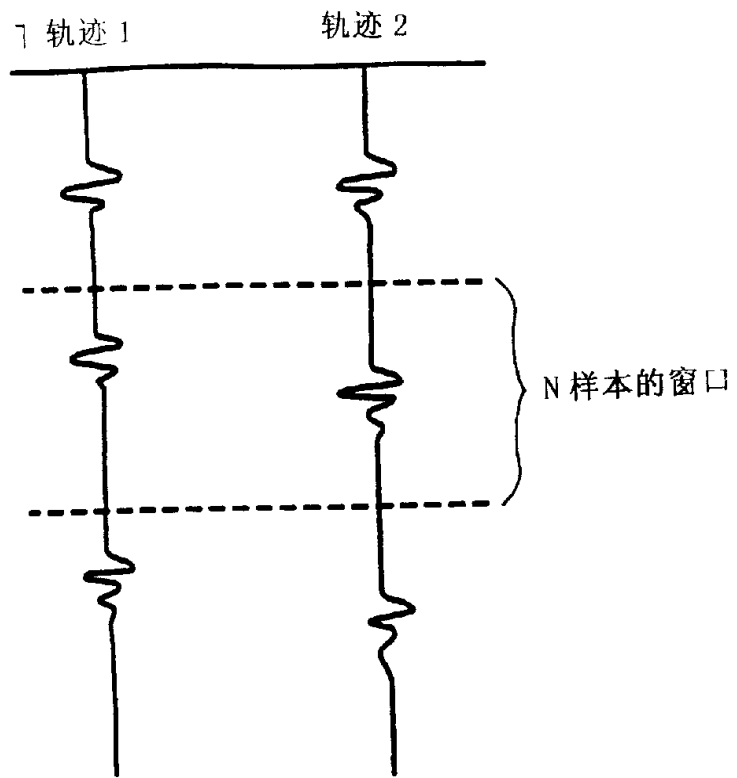


图 3

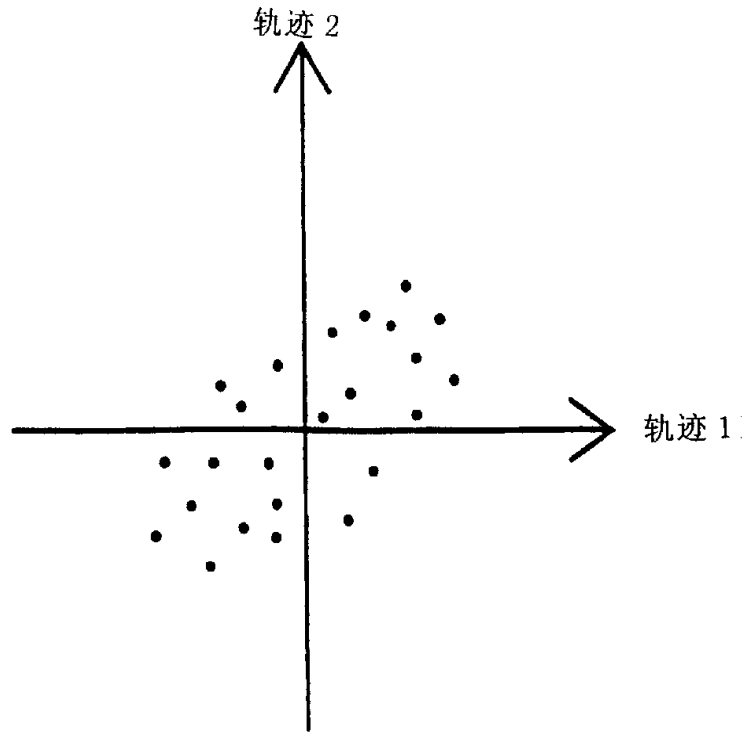


图 4

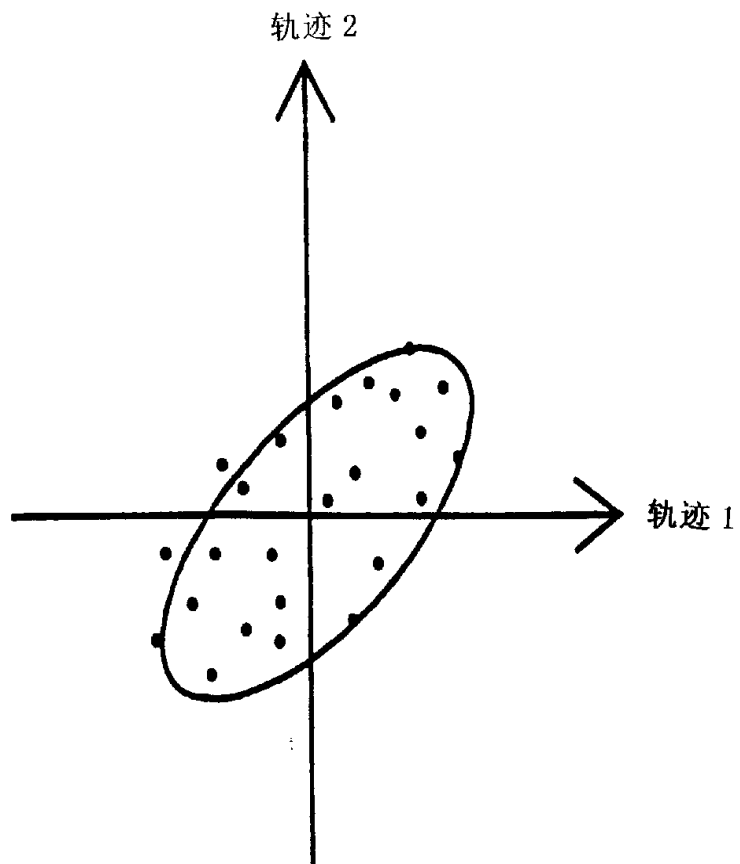


图 5

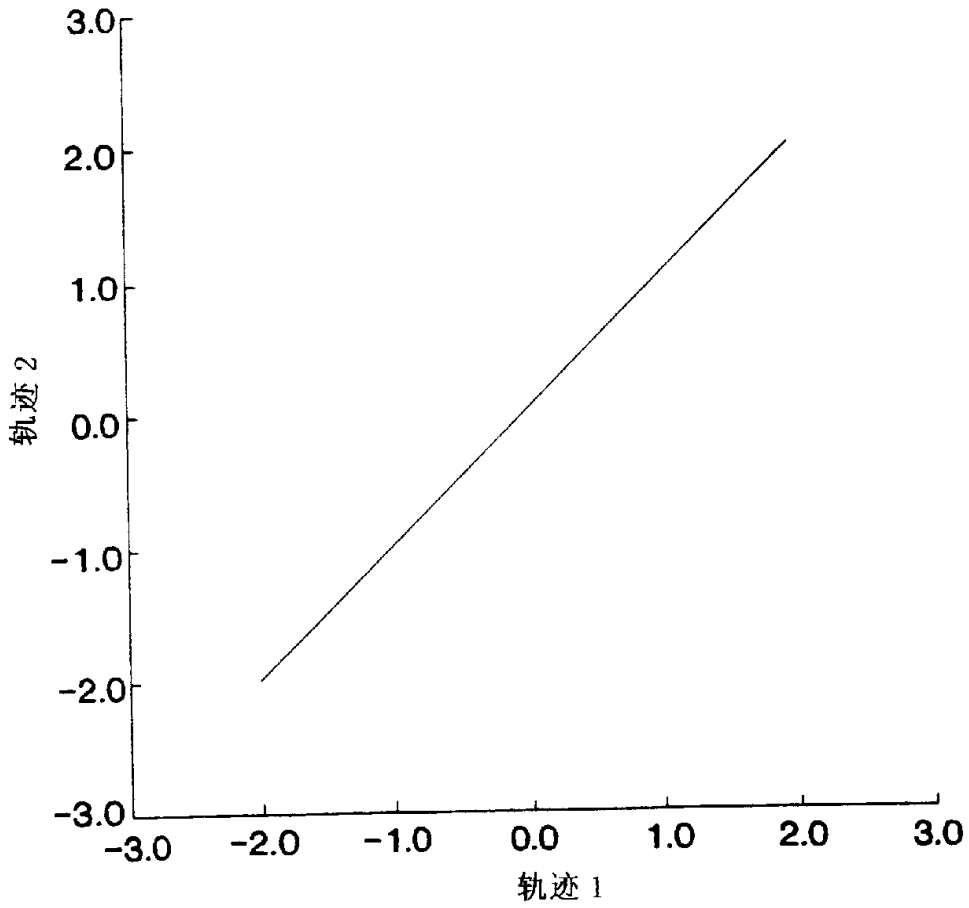


图 6A

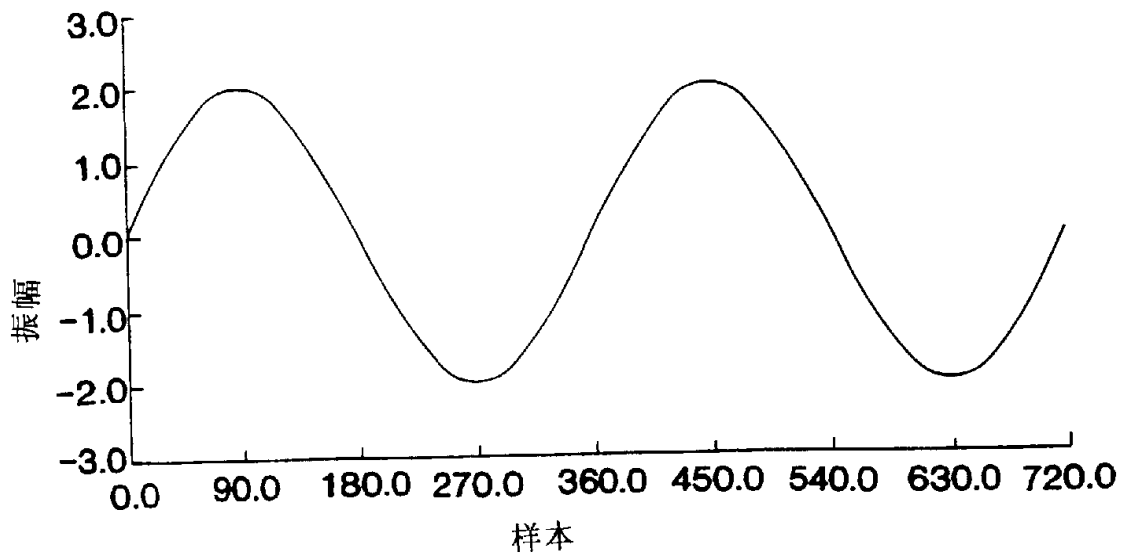


图 6B

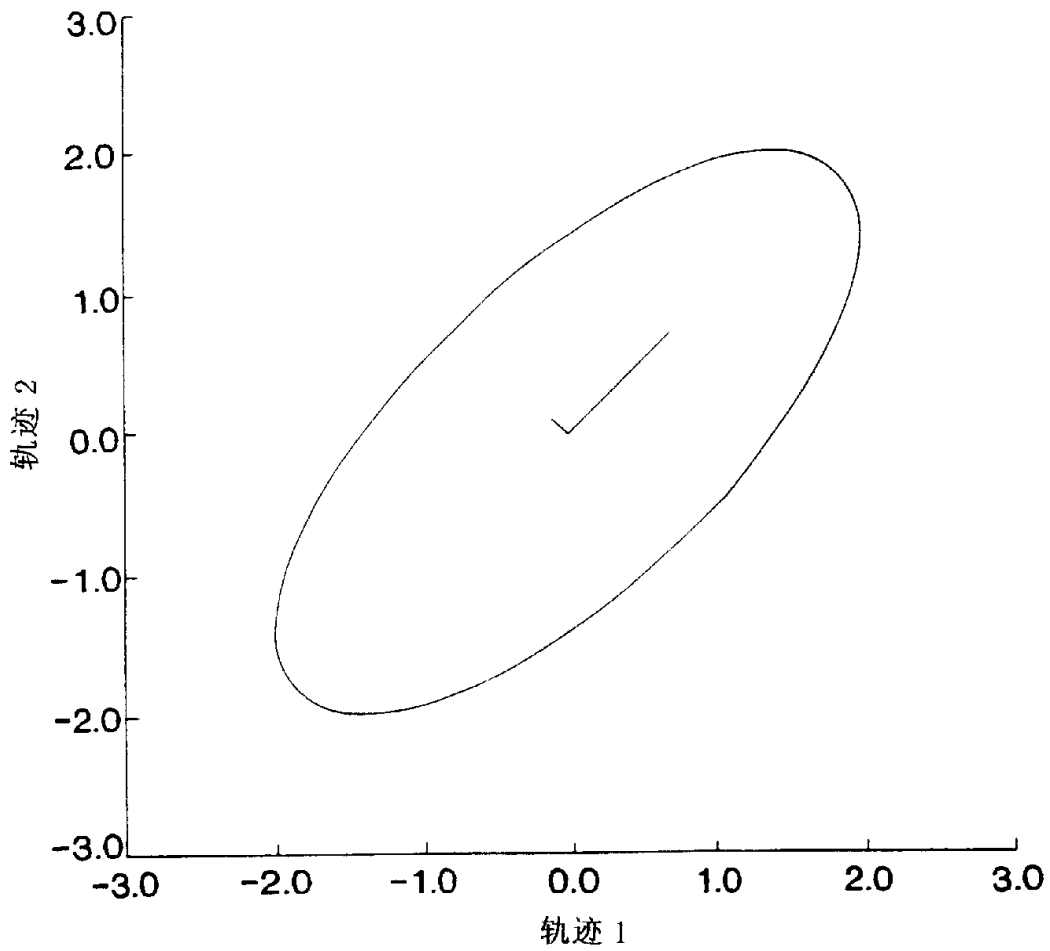


图 7A

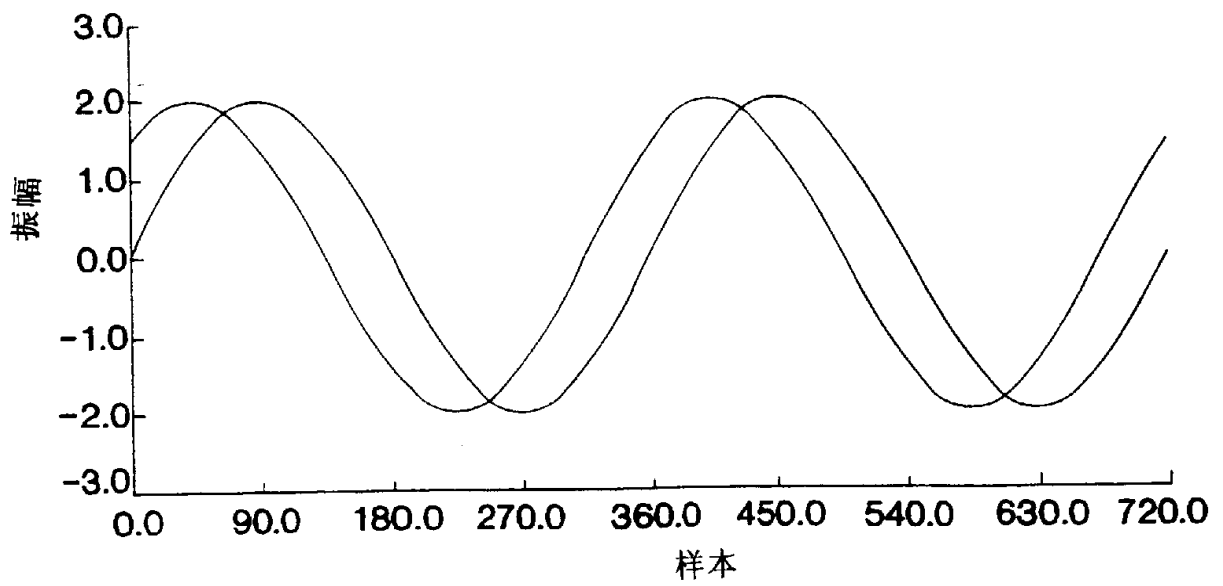


图 7B

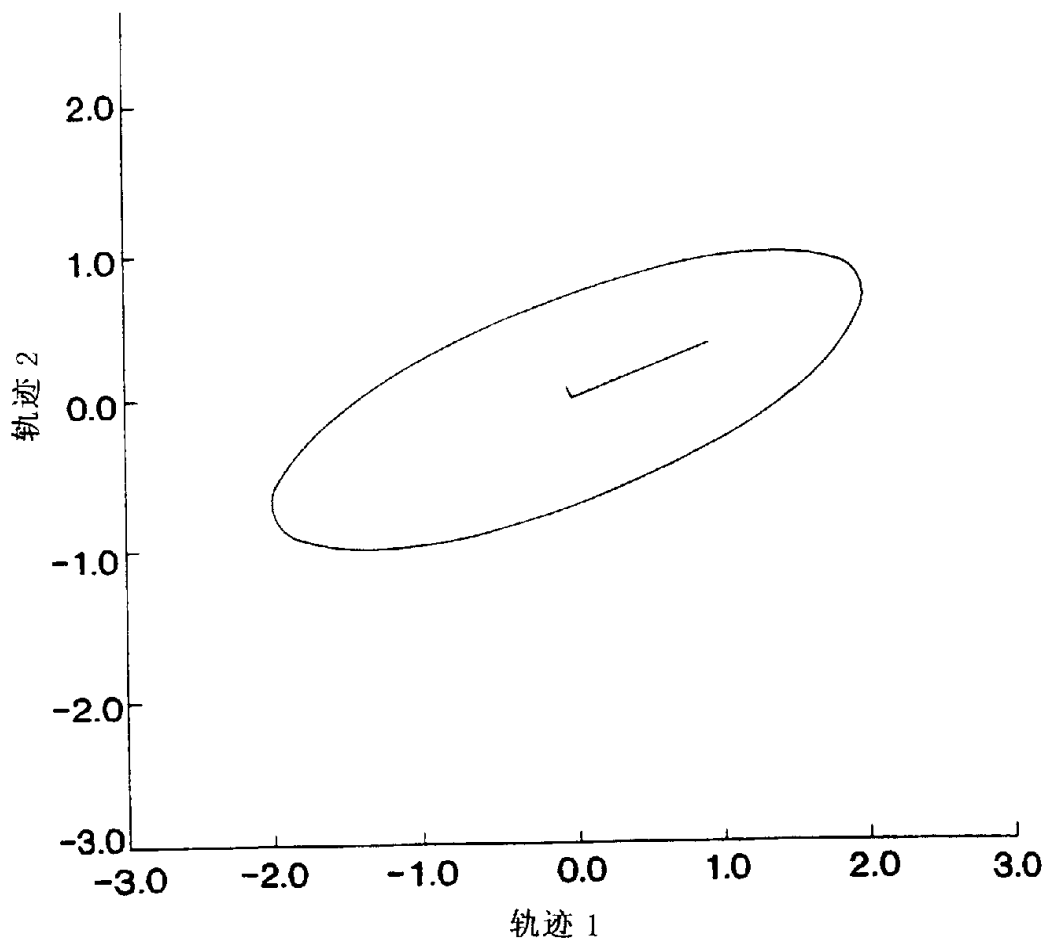


图 8A

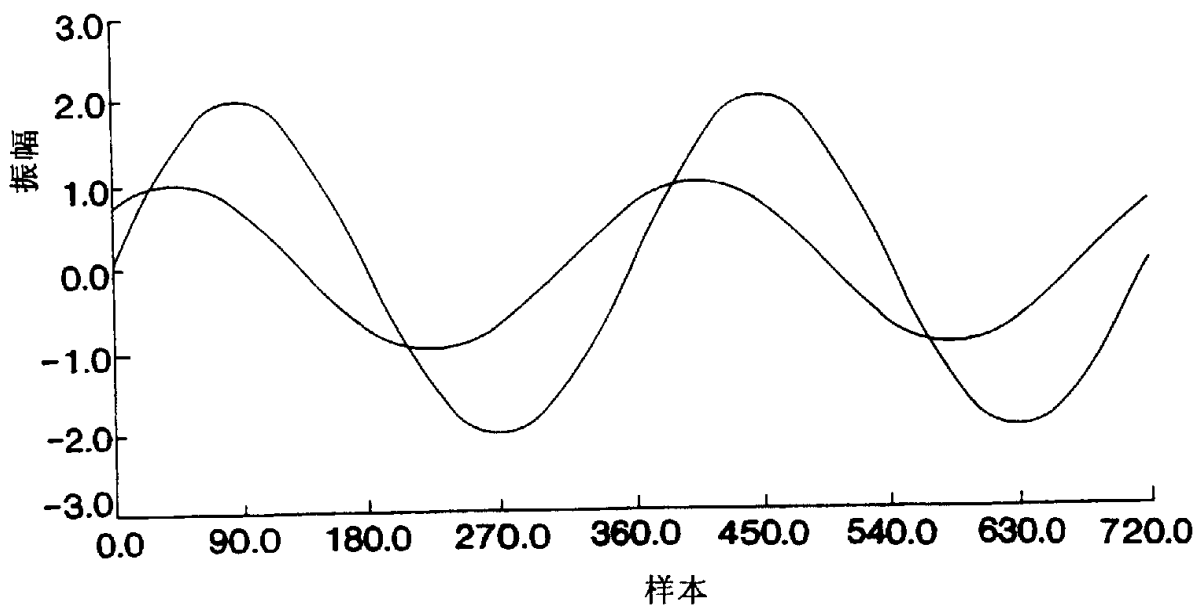


图 8B

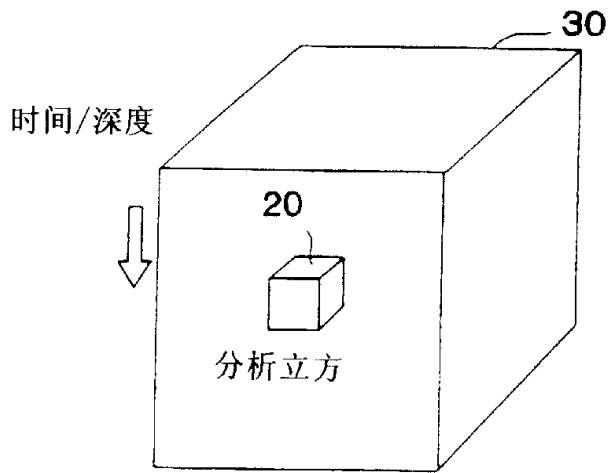


图 9A

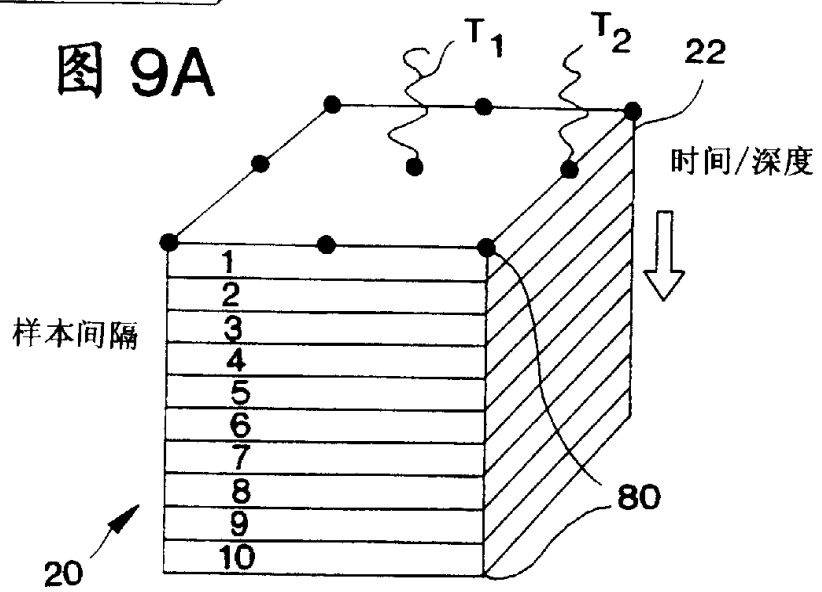


图 9B

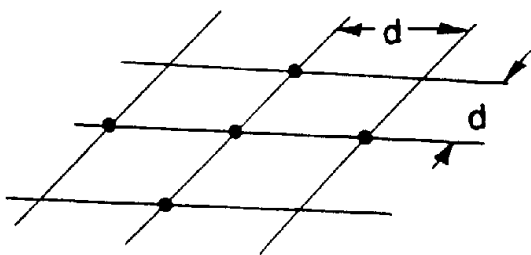


图 10A

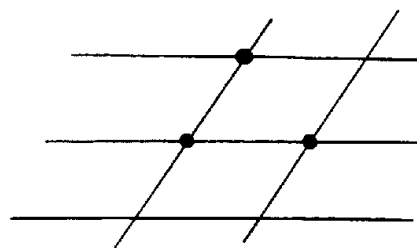


图 10B

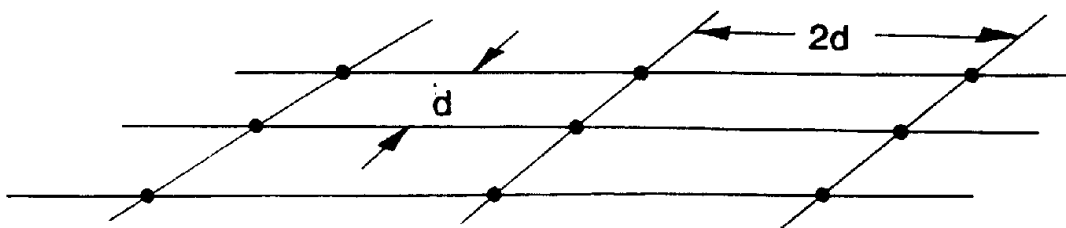


图 10C

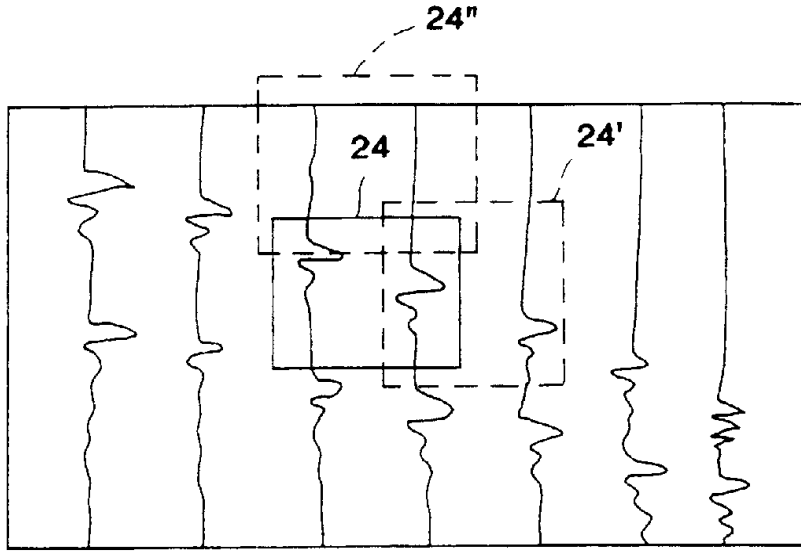


图 11A

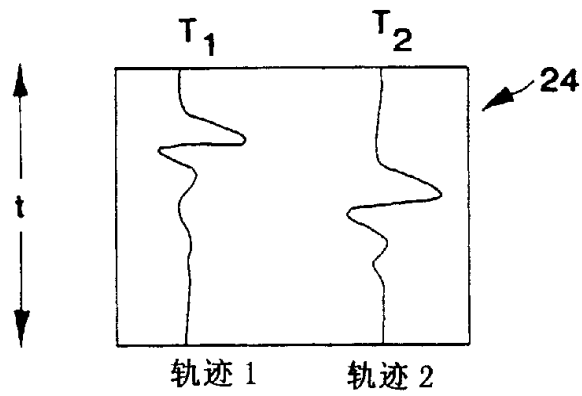


图 11B

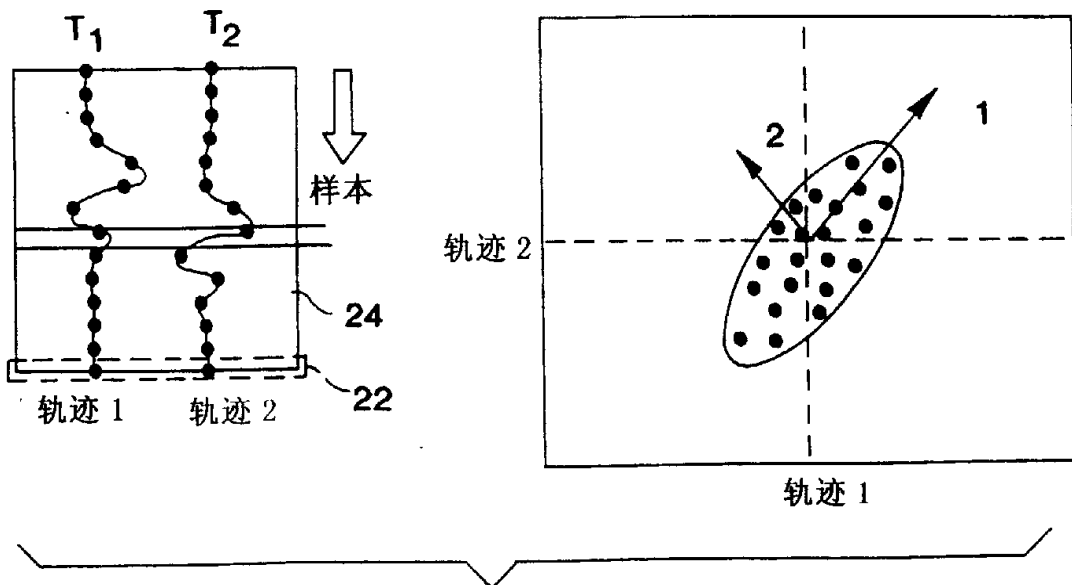


图 11C

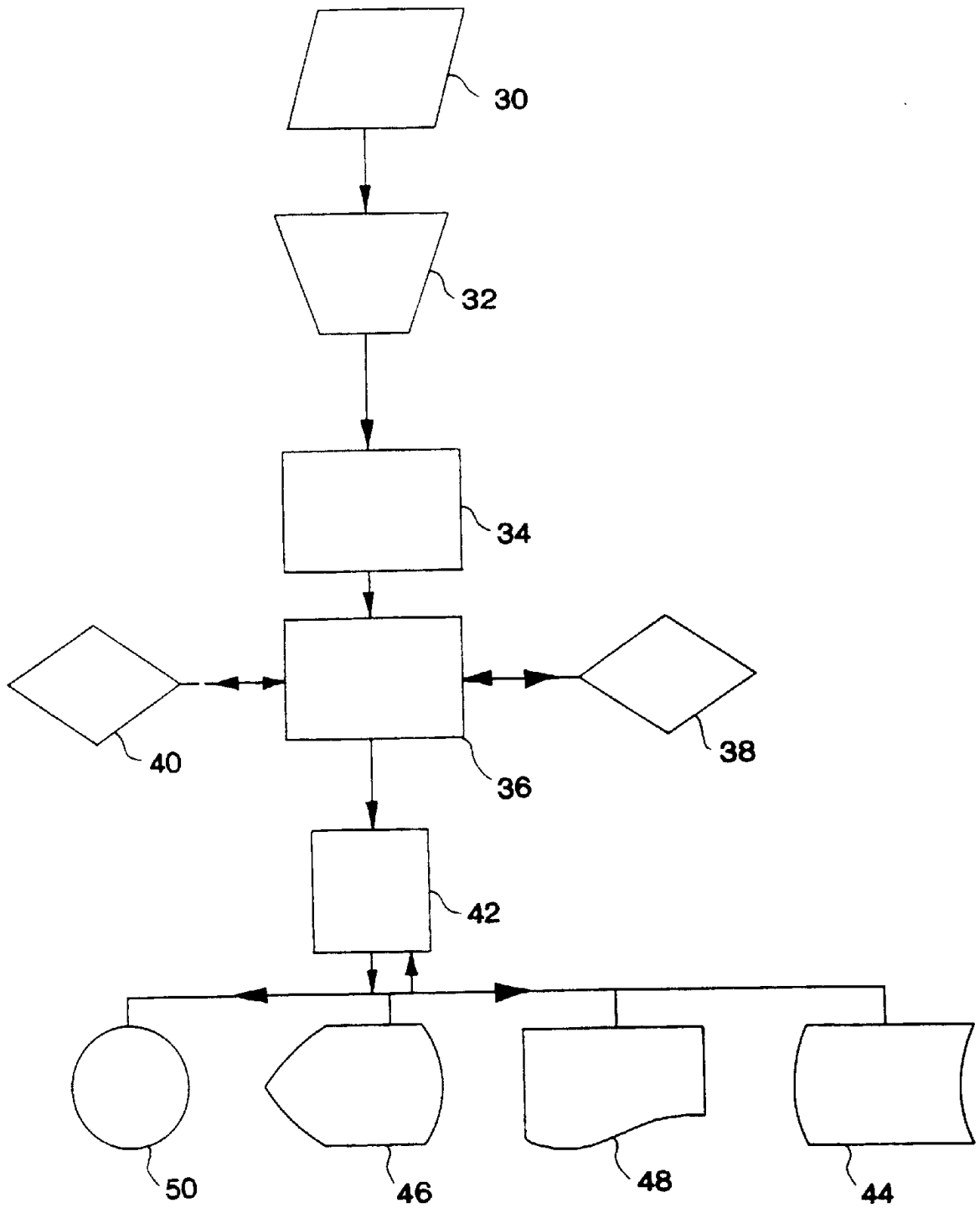


图 12

切面 35：交叉相关



图 13A

切面 35：外貌



图 13B

切面 35：基本分量



图 13C