



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106772598 B

(45)授权公告日 2018.04.17

(21)申请号 201611138326.6

审查员 荣扬名

(22)申请日 2016.12.12

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106772598 A

(43)申请公布日 2017.05.31

(73)专利权人 中国石油大学(华东)

地址 266580 山东省青岛市经济技术开发  
区长江西路66号

(72)发明人 宋建国 高尚行

(74)专利代理机构 青岛智地领创专利代理有限

公司 37252

代理人 张红凤

(51)Int.Cl.

G01V 1/30(2006.01)

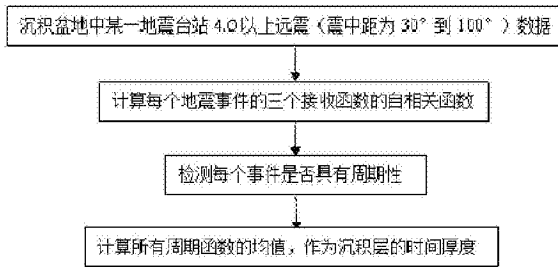
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

利用接收函数周期性测量沉积地层时间厚度的方法

(57)摘要

本发明公开了一种利用接收函数周期性测量沉积地层时间厚度的方法,属于固体地球物理研究领域。本发明首先选择地震台站接收到的震级大于四级以上、震中距为30°到100°的三分量地震数据垂直分量Z、径向分量r和切向分量t,将满足条件的地震事件选出来;然后分别计算每个地震事件垂直分量Z、径向分量r和切向分量t的归一化自相关函数 $R_{zz}^i(\tau)$ 、 $R_{rr}^i(\tau)$ 和 $R_{tt}^i(\tau)$ ;检测每个地震事件i是否具有周期性,判定地震事件i的周期性是否为接收台站下方沉积地层引起的周期性;最后利用数学平均值算法来获得反映地震台站下方沉积地层厚度的平均时间厚度。本发明方法为沉积地层的研究提供了理论基础。



1. 一种测量沉积地层时间厚度的方法,其特征在于,依次包括以下步骤:

a、选择地震台站接收到的震级大于四级、震中距为 $30^{\circ}$ 到 $100^{\circ}$ 的三分量地震数据垂直分量 $Z$ 、径向分量 $r$ 和切向分量 $t$ ,将满足条件的地震事件选出来,设选出来的地震事件为 $i$ , $i=1,2,3,\dots,M$ ;

b、分别计算每个地震事件垂直分量 $Z$ 、径向分量 $r$ 和切向分量 $t$ 的归一化自相关函数 $R_{zz}^i(\tau)$ 、 $R_{rr}^i(\tau)$ 和 $R_{tt}^i(\tau)$ ,并分别检测每个自相关函数的周期性,得到三个周期值分别记为 $T_z$ 、 $T_r$ 、 $T_t$ ;

c、检测每个地震事件 $i$ 是否具有周期性,得到地震事件的周期 $T_i$ ;

d、将检测得到的具有周期性的地震事件总数设为 $K$ ,则沉积地层时间厚度 $T$ 即为:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^K T_i}{K}。$$

2. 根据权利要求1所述的测量沉积地层时间厚度的方法,其特征在于,步骤b中,自相关函数的周期性的检测方法为:

在自相关函数上选择前四个极值点,各自对应的时间延迟为 $\tau_j$ , $j=1\dots 4$ ,对应的自相关函数数值为 $a_j$ , $j=1\dots 4$ ,其中根据归一化自相关函数的特征有 $\tau_1=0$ , $a_1=1$ ;

用下面的准则来判定自相关函数的周期性:

若 $|\tau_2+\tau_4-2\tau_3| \leq 2\Delta$ ,其中 $\Delta$ 为采样间隔, $a_2<0$ , $a_3>0$ , $a_4<0$ ,且 $0.8 < \frac{a_2 \cdot a_4}{a_3} < 1.2$ 则自

相关函数的周期为 $T = \frac{\tau_2 + \tau_3 + \tau_4}{6}$ ,否则该自相关函数没有周期性,并令 $T=0$ 。

3. 根据权利要求1所述的测量沉积地层时间厚度的方法,其特征在于,步骤c中,判定每个地震事件 $i$ 的周期性是否为接收台站下方沉积地层引起的周期性,具体的判定方法为:

若 $T_z+T_r+T_t=0$ ,则地震事件 $i$ 没有周期性;

若 $T_z+T_r+T_t>0$ , $T_z=0$ ,则地震事件 $i$ 具有周期性;当 $\min(T_r, T_t) = 0$ 时周期大小为 $T_i = \max(T_r, T_t)$ ,否则 $T_i = \min(T_r, T_t)$ ;

若 $T_z+T_r+T_t>0$ , $T_z>0$ , $T_r+T_t>0$ ,并且 $|T_z-T_t|>2\Delta$ 或者 $|T_z-T_r|>2\Delta$ ,则地震事件 $i$ 具有周期性;当 $\min(T_r, T_t) = 0$ 时周期大小为 $T_i = \max(T_r, T_t)$ ,否则 $T_i = \min(T_r, T_t)$ 。

## 利用接收函数周期性测量沉积地层时间厚度的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及固体地球物理研究领域,用于地球构造研究以及沉积盆地基底深度测定,具体涉及一种沉积地层时间厚度的测定方法。

### 背景技术

[0002] 沉积地层的时间厚度是指地震波从地表垂直向下传播到沉积层底界面再向上传播回到地表的时间,该时间可用于刻画沉积地层相对厚度和盆地基底埋深。

[0003] 根据地球板块构造理论,地球由地壳、地幔与地核构成。地壳的性质与厚度等属性与天然地震等地质灾害密切相关,其上的沉积盆地则与矿产资源的富集关系密切。无论是在地球的壳幔构造研究中,还是在沉积盆地演化与矿产资源评价中,沉积盆地基底深度与沉积地层厚度都是非常重要的物理量。

[0004] 目前常用的沉积盆地基底测量方法主要是钻探法、重力勘探法以及大地电磁测深。其中,钻探法不仅费用昂贵,而且只能提供一点的地层信息;重力勘探法与大地电磁测深法采用位场向下延拓的方法,其精度受到了勘探深度的影响。此外,油气勘探中的人工地震方法也可以用来进行沉积地层的研究,能够获得地下图像,但同样需要高费用,且不能保证获得基底反射。

[0005] 因此,亟待提供一种用于测量沉积地层时间厚度的新方法。

### 发明内容

[0006] 本发明的任务在于提供一种利用接收函数周期性测量沉积地层时间厚度的方法,该方法利用天然地震中震级4.0以上的远震信号,通过分析其中地震波在沉积地层中多次反射的周期来测定沉积地层的时间厚度。

[0007] 其技术解决方案包括:

[0008] 一种测量沉积地层时间厚度的方法,依次包括以下步骤:

[0009] a、选择地震台站接收到的震级大于四级以上、震中距为 $30^{\circ}$ 到 $100^{\circ}$ 的三分量地震数据垂直分量Z、径向分量r和切向分量t,将满足条件的地震事件选出来,设选出来的地震事件为 $i, i=1, 2, 3 \dots M$ ;

[0010] b、分别计算每个地震事件垂直分量Z、径向分量r和切向分量t的归一化自相关函数 $R_{zz}^i(\tau)$ 、 $R_{rr}^i(\tau)$ 和 $R_{tt}^i(\tau)$ ,并分别检测每个自相关函数的周期性,得到三个周期值分别记为 $T_z, T_r, T_t$ ;

[0011] c、检测每个地震事件i是否具有周期性;

[0012] d、将检测得到的具有周期性的地震事件总数设为K,则沉积地层时间厚度T即为:

$$[0013] \quad T = \frac{\sum_{i=1, K} T_i}{K}。$$

[0014] 作为本发明的一个优选方案,步骤b中,自相关函数的周期性的检测方法为:

[0015] 在自相关函数上选择前四个极值点,各自对应的时间延迟为 $\tau_j, j=1 \dots 4$ ,对应的自相关函数数值为 $a_j, j=1 \dots 4$ ,其中根据归一化自相关函数的特征有 $\tau_1=0, a_1=1$ ;

[0016] 用下面的准则来判定自相关函数的周期性:

[0017] 若  $|\tau_2 + \tau_4 - 2\tau_3| \leq 2\Delta$ , 其中  $\Delta$  为采样间隔,  $a_2 < 0, a_3 > 0, a_4 < 0$ , 且  $0.8 < \frac{a_2 \cdot a_4}{a_3} < 1.2$  则自相关函数的周期为  $T = \frac{\tau_2 + \tau_3 + \tau_4}{6}$ , 否则该自相关函数没有周期性, 并令  $T=0$ 。

[0018] 作为本发明的另一个优选方案,步骤c中,判定每个地震事件i的周期性是否为接收台站下方沉积地层引起的周期性,具体的判定方法为:

[0019] 若 $T_z+T_r+T_t=0$ ,则地震事件i没有周期性;

[0020] 若 $T_z+T_r+T_t>0, T_z=0$ ,则地震事件i具有周期性;当 $\min(T_r, T_t)=0$ 时周期大小为 $T_i=\max(T_r, T_t)$ , 否则 $T_i=\min(T_r, T_t)$ ;

[0021] 若 $T_z+T_r+T_t>0, T_z>0, T_r+T_t>0$ , 并且 $|T_z-T_t|>2\Delta$ 或者 $|T_z-T_r|>2\Delta$ , 则地震事件i具有周期性;当 $\min(T_r, T_t)=0$ 时周期大小为 $T_i=\max(T_r, T_t)$ , 否则 $T_i=\min(T_r, T_t)$ 。

[0022] 本发明所带来的有益技术效果为:

[0023] 本发明选择记录到的震中距为 $30^\circ-100^\circ$ 的四级以上远震数据,利用自相关函数提取接收函数的周期性,这个距离上的地震波在壳幔分界面上以接近垂直的角度入射,地震波近乎垂直到达地震台站,在沉积盆地中,由于沉积层的地震波速度远远低于地壳的地震波速度,因而地震波在沉积层中几乎垂直传播。由于地表是沉积层与空气的接触面,因而是良好的反射界面,与此同时沉积层基底是沉积地层与地壳的分界面,也是一个良好的分界面,地震波进入沉积层后在这两个界面之间来回多次反射,形成鸣振。

[0024] 本发明利用接收函数这种鸣振的周期来获得沉积地层的时间厚度,也就是地震波在沉积地层里的垂直双程旅行时。本发明采用接收函数的自相关函数曲线上的相邻振幅极值比值与振幅极值点延迟时间双判别条件来自动识别接收函数的周期性,在获得同一个地震台站众多接收函数的周期后,通过接收函数不同分量周期性的差异来识别地震台站下方沉积地层引起的周期性,最后利用数学平均值算法来获得反映地震台站下方沉积地层厚度的平均时间厚度。

## 附图说明

[0025] 下面结合附图对本发明做进一步说明:

[0026] 图1为本发明方法的流程图;

[0027] 图2为具有周期性的接收函数图;

[0028] 图3为具有周期性的自相关函数图;

[0029] 图4为不具有周期性的接收函数图;

[0030] 图5为不具有周期性的自相关函数图;

[0031] 图6为本发明实施例用在美国williston盆地沉积地层时间厚度图。

## 具体实施方式

[0032] 本发明提出了一种利用接收函数周期性测量沉积地层时间厚度的方法,为了使本

发明的优点、技术方案更加清楚、明确,下面结合具体实施例对本发明做详细说明。

[0033] 如图1所示的流程图,本发明测量沉积地层时间厚度的方法,包括以下步骤:

[0034] 第一步、选择沉积盆地中某一地震台站4.0以上的远震(震中距为 $30^{\circ}$ 到 $100^{\circ}$ )数据;

[0035] 第二步、计算每个地震事件的三个接收函数的自相关函数;

[0036] 第三步、检测每个事件是否具有周期性;

[0037] 第四步、计算所有周期函数的均值,作为沉积地层的时间厚度。

[0038] 下面结合具体实施例1做详细说明。

[0039] 实施例1:

[0040] 本发明方法用于北美的Williston盆地。该盆地油气资源非常丰富,是典型的卡拉通盆地。该盆地的区域为纬度 $41^{\circ}$ 到 $50^{\circ}$ 、经度 $-111^{\circ}$ 到 $-95^{\circ}$ 的范围。选择该区域内的所有地震台站,一共307个。从IRIS(Incorporated Research Institutions for Seismology)的数据处理中心获得了这些台站1980年以来的四级以上远震2459个地震的数据,通过这些数据的基本处理后得到了接收函数,合计为 $2459 \times 307 = 754913$ 个。处理中将地震波在莫霍面产生的转换波到达台站的时间设为0时刻,根据0时刻是否存在明显的转换波来选择可用于本发明研究的接收函数。图2和图4示出的是选择出来的接收函数,可以看到0时刻附件有明显的强振幅。根据接收函数的这个基本要求本例中共选出了符合条件的接收函数数目为19462个。

[0041] 根据本发明分别计算这19462个接收函数的自相关函数,得到两类自相关函数,一类如图3所示,是典型的周期性接收函数的自相关函数;一类如图5所示,是典型的非周期性接收函数的自相关函数。利用本发明的第三步进行检测,最终得到了307个台站接收函数的周期性数据。

[0042] 以H31Axx\_TA台站为例,如表1所示,该台站的纬度和经度分别为: $44.4795^{\circ}$ 和 $-98.4772^{\circ}$ ,其接的有效地震事件为372个。下表为检测到的部分地震事件的周期性,根据本发明的第三步的规则给出了有效性。这些有效的周期数据用于计算该站点下方沉积地层的时间厚度为1.0209s。

[0043] 表1HAxx\_TA台站部分接收函数检测结果

[0044]

震源纬度( $^{\circ}$ )	震源经度( $^{\circ}$ )	Z分量周期(s)	R分量周期(s)	T分量周期(s)	地震代号	有效性
-7.454	-75.146	0	1.0667	0	EQ102390440	否
51.451	-175.87	0	0.9667	1.0083	EQ102461116	是
-43.522	171.83	2.475	2.9917	2.125	EQ102461635	否
-23.825	179.975	2.3417	2.2167	2.2167	EQ102482348	否
-20.671	169.818	0	0	0	EQ102511137	否
44.588	149.724	0	1.05	0	EQ102511739	否
-37.034	-73.412	0	1.05	0	EQ102520728	否
59.405	-30.226	2.3167	1.0667	1.0667	EQ102521031	是
41.497	141.986	0	1.075	0	EQ102560547	是
-14.612	-70.777	0	1.025	1.0417	EQ102560715	是
36.443	70.774	0	1.0583	0	EQ102601921	是
52.233	179.754	0	0	0	EQ102660528	否
-7.809	-74.373	2.1667	1.0083	0	EQ102671901	是

62.854	-149.512	0	1.025	0	EQ102681205	否
-20.999	-179.02	0	0	0	EQ102691720	否
52.438	179.732	0	0.95	0	EQ102691827	是
57.688	-32.762	0	1.0583	0	EQ102700008	是
57.727	-32.679	0	0.9583	0	EQ102700016	是
-36.249	-74.256	0	0	0	EQ102730026	否
19.706	121.472	0	0	0	EQ102730900	否
-7.926	-71.324	0	0	0	EQ102732330	否
-17.818	-173.989	0	1.8833	0	EQ102791943	是
51.374	-175.361	1.9583	1.025	1.075	EQ102810326	是
51.287	-175.18	8.2333	8.0917	0	EQ102810349	否
10.211	-84.293	0	1.025	0	EQ102820154	是
42.311	142.871	0	1.1417	0	EQ102871358	是
-20.414	-173.846	0	0	0	EQ102892008	否
-34.737	-73.726	0	1.0417	0	EQ102940249	是
-20.878	-68.372	0	0	0	EQ102951931	否
-29.593	-71.112	2.3333	0	0	EQ102960138	否
-6.385	150.161	2.7167	0	0	EQ103041638	否

[0045] 根据本发明的第四步计算得到了各个台站下方沉积地层的时间厚度数据。在307个台站中有264个台站得到了有效的时间厚度,部分台站的数据如表2所示。根据这个数据可以绘制出图6所示的时间厚度图,为了与一般方法对比,图6中给出了传统方法得到的等值线,两者基本相近,但本方法更可靠。且不需要进行专门的地球物理观测,采用现有的天然地震检测数据即可。

[0046] 表2部分台站时间厚度数据

[0047]

台站名称	纬度(°)	经度(°)	时间厚度(S)
A18Axx_TA	48.9198	-109.8459	2.3414
A19Axx_TA	48.9286	-108.7429	2.7845
A20Axx_TA	48.8799	-107.9257	2.4267
A26Axx_TA	48.8973	-102.038	2.4017
A27Axx_TA	48.9533	-101.2407	2.1591
A28Axx_TA	48.9096	-100.2669	2.2114
A29Axx_TA	48.9228	-99.2321	1.5108
A30Axx_TA	48.9402	-98.3009	1.0746
A31Axx_TA	48.932	-97.1888	0.7057
A32Axx_TA	48.9172	-96.4935	2.1525
A33Axx_TA	48.9371	-95.3904	1.9343
B18Axx_TA	48.3943	-109.7775	2.2743
B19Axx_TA	48.4551	-108.9443	2.3986
B20Axx_TA	48.4389	-108.0209	2.3725
H18Axx_TA	44.6769	-109.6641	2.1474
H19Axx_TA	44.6704	-108.9857	1.8303
H20Axx_TA	44.4868	-107.999	2.0351
H21Axx_TA	44.6277	-107.0423	2.05
H23Axx_TA	44.562	-105.4007	2.9358
H26Axx_TA	44.6168	-102.7739	2.2167
H27Axx_TA	44.6329	-102.0775	2.1025
H28Axx_TA	44.6751	-101.0206	1.7944
H29Axx_TA	44.6261	-100.2125	1.6927
H31Axx_TA	44.4795	-98.4772	1.0209
H32Axx_TA	44.5041	-97.4363	1.5524
H33Axx_TA	44.6812	-96.7434	1.3954
H34Axx_TA	44.6673	-95.777	2.0047
I18Axx_TA	43.7013	-109.8171	1.1107
I19Axx_TA	44.0363	-108.9943	2.0962

[0048]

I20Axx_TA	43.9496	-108.1283	2.1655
I21Axx_TA	43.8122	-107.292	2.2132
B21Axx_TA	48.4278	-107.0166	2.1807
B22Axx_TA	48.3008	-105.9964	2.5905
B23Axx_TA	48.4643	-104.9909	2.7212
B25Axx_TA	48.2716	-103.1613	2.7557
B26Axx_TA	48.3762	-102.2341	2.7335
B27Axx_TA	48.4044	-101.26	2.3684
B28Axx_TA	48.4492	-100.3616	2.0659
B29Axx_TA	48.4649	-99.3535	1.6749
B30Axx_TA	48.4505	-98.3286	1.347
B31Axx_TA	48.4236	-97.6495	0.7507
B32Axx_TA	48.3951	-96.5363	2.1644
B33Axx_TA	48.2722	-95.588	2.0757

[0049] 需要说明的是,在本说明书的教导下本领域技术人员所做出的任何等同方式,或明显变型方式均应在本发明的保护范围内。



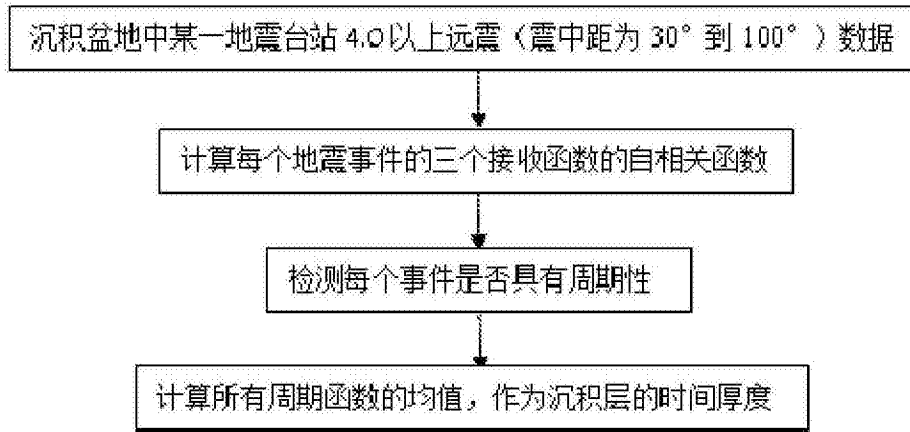


图1

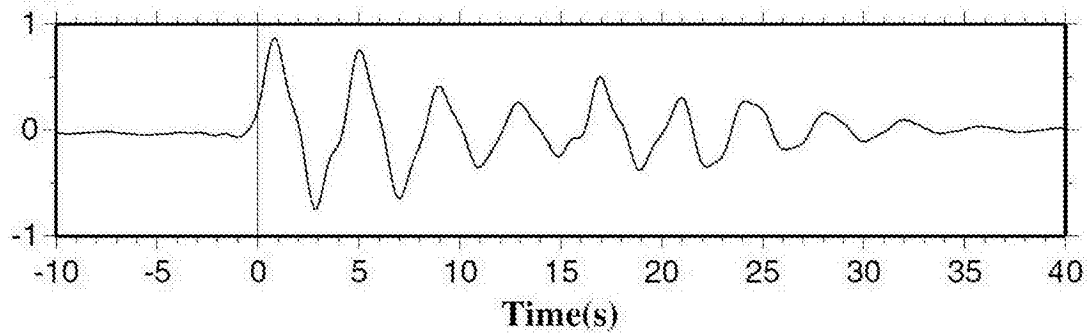


图2

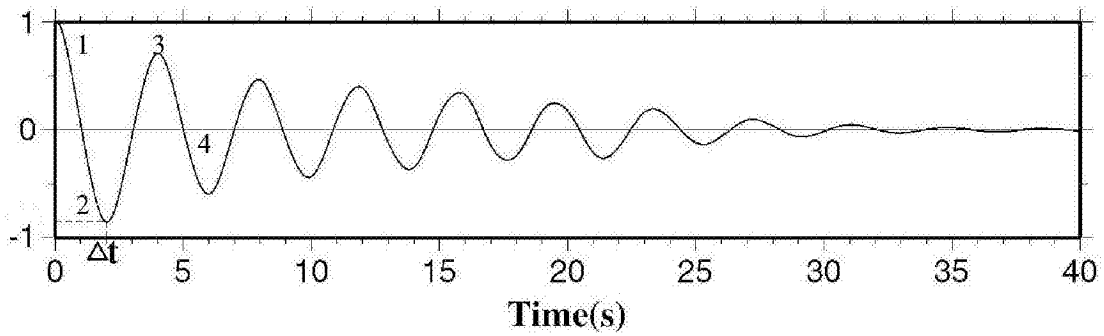


图3

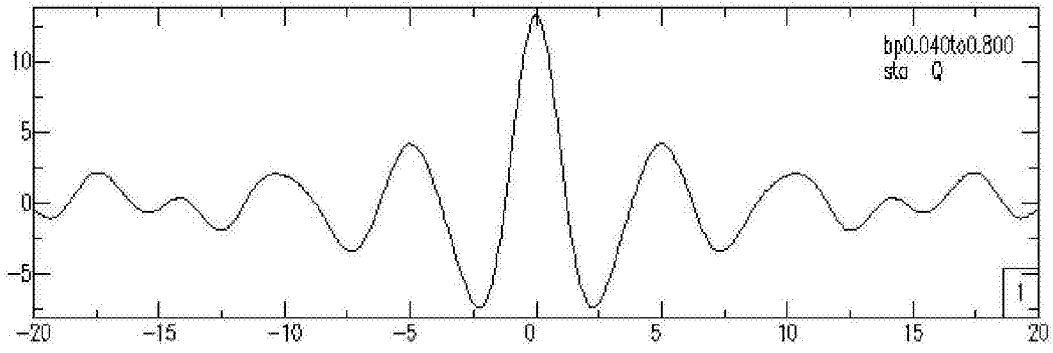


图4

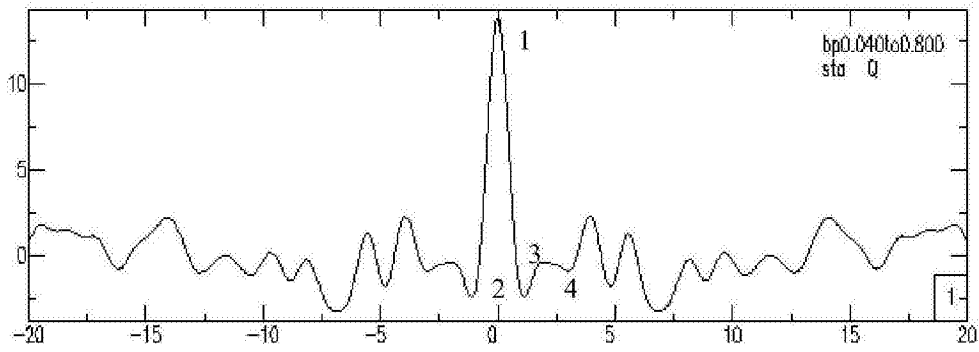


图5

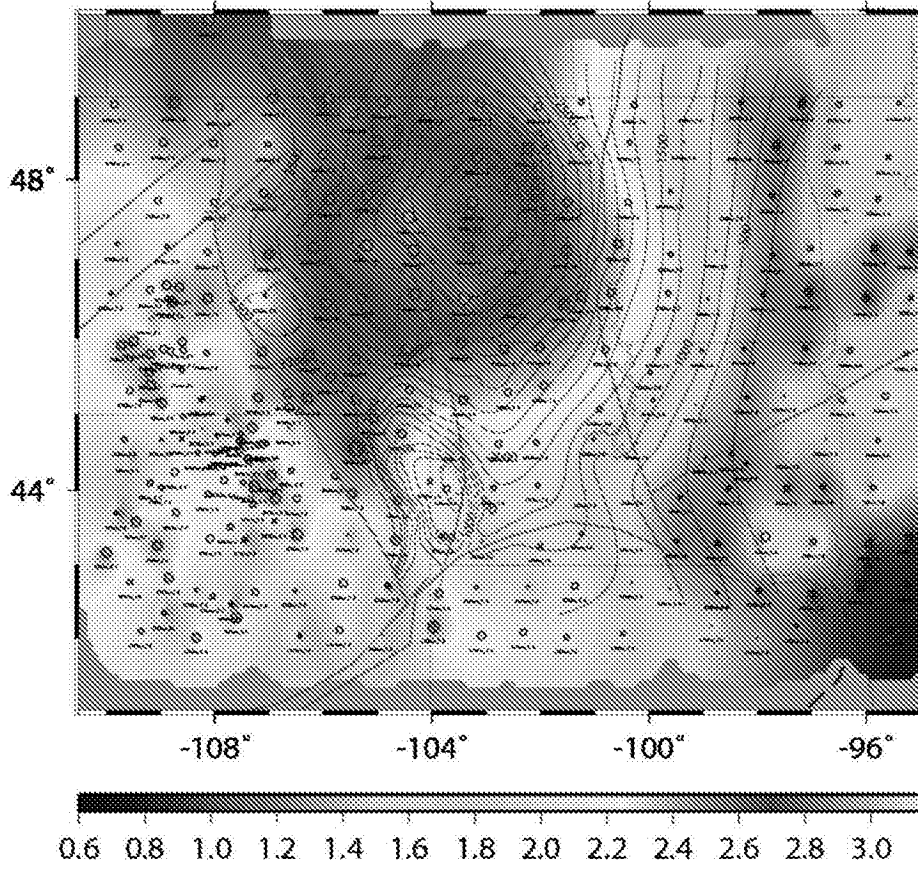


图6