



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105093314 A

(43) 申请公布日 2015. 11. 25

(21) 申请号 201510404883. 7

(22) 申请日 2015. 07. 10

(71) 申请人 中联煤层气有限责任公司  
地址 100011 北京市东城区安外大街甲 88 号

申请人 北京派特森科技发展有限公司

(72) 发明人 薛爱民 吴建光 艾建华 张平 李兴锋

(74) 专利代理机构 北京市兰台律师事务所  
11354

代理人 刘俊清

(51) Int. Cl.  
G01V 1/30(2006. 01)

权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种测定微地震震源的方法

(57) 摘要

本发明涉及灾害和资源与环境领域,具体涉及一种测定微地震震源的方法。本发明提供了一种测定微地震震源的方法,包括采集、预处理、初至拾取、将地下待测空间划分成细小体积网格、NMO作业、信号叠加、确定坐标点等步骤。本发明所提供的方法避免了井下微地震数据与地面微地震数据难以应用最大能量方法确定微地震位置的弊端。应用本发明所提供的方法,将地面采集的水力压裂微地震数据与井下采集的数据合并,联合反演了井下微震的位置,实际资料数据反演结果表明,该方法为利用地面与井下微地震联合数据进行最大能量叠加法反演震源位置提供了新的手段。



1. 一种测定微地震震源的方法, 其特征在于, 所述测定微地震震源的方法包含以下步骤:

- (1) 地面采集 P 波波场数据, 井下采集 S 波波场数据;
- (2) 对地面采集到的 P 波波场数据和井下采集到的 S 波波场数据进行常规的预处理;
- (3) 应用手工或自动方法对 P 波波场数据、S 波波场数据初至进行拾取, 得到微地震信号的初至时间;
- (4) 将地下待测空间划分成细小体积网格;
- (5) 应用地面 P 波波场数据和井下 S 波波场数据依次在每个网格的中心点做相对测量点的 NMO 作业;
- (6) 应用固定时间窗, 将 NMO 后地面微地震信号进行叠加, 即

$$Q = \left[ \frac{1}{l_1} \sum_{j=1}^{l_1} \left\{ \frac{1}{N} \left[ \sum_{i=1}^N A_{(x_i, t_j)} \right]^2 + \frac{1}{M-N} \left[ \sum_{i=N+1}^M A_{(x_i, t_j)} \right]^2 \right\} \right]^{\frac{1}{2}}$$

其中:  $l_1$  为时间窗口长度;

M 为采集数据道数;

N 为地面采集数据道数;

x 为空间坐标变量;

t 为时间坐标变量;

A 为振幅值;

i, j 分别为采集道数和时间采样点序号;

Q 值即为叠加能量指数;

(7) 对比每个网格的中心点所得到的 Q 值, 获得最大 Q 值的网格点坐标, 并将该点坐标作为微地震震源位置输出。

2. 根据权利要求 1 所述的测定微地震震源的方法, 其特征在于, 针对具有多组微地震事件构成的微地震数据, 所述测定微地震的方法还包含按所述 (5)、(6)、(7) 步骤循环处理, 获得多个微地震事件的震源点, 实现定位目标。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的测定微地震震源的方法, 其特征在于, 所述的测定微地震震源的方法在完成步骤 (7) 后, 还包含将所述所获得最大 Q 值的网格进一步细分为更小的网格, 针对所述更小的网格重复 (5)、(6)、(7) 步骤。

## 一种测定微地震震源的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及灾害和资源与环境领域,具体涉及一种测定微地震震源的方法。

### 背景技术

[0002] 非常规油气田开发需要进行水力压裂,从而促使地下储层形成网状裂缝,增加油气产量。压裂形成的裂缝需要应用微地震监测技术将其成像,从而评估效果。目前,常规的微地震监测方案是在井中或地面布设声波传感器,采集水力压裂引发的微地震信号并将其定位成像。定位技术有多种方案,其中以最大能量叠加方法受到人们的青睐。它不仅应用到微地震波传播时间,还应用了振幅与相位特性。反演的地下位置点与实际地下位置点相差越小,微地震波叠加后能量越大,反之,则越小。最大能量叠加方法已经被应用于实际生产多年,在地面微地震数据定位成像处理与井中微地震定位成像处理中发挥了很大的作用。

[0003] 美国 Microseismic 公司、哈里波尔顿公司、法国斯伦贝谢公司、中石油东方地球物理勘探有限责任公司、中石油川庆钻探工程公司地球物理分公司以及中石化都先后应用该技术对大量的压裂监测微地震数据进行过定位处理,国内多家科研单位对该技术进行了拓展性研究。从目前人们发表的文献和技术报告来看,该技术在水力压裂微地震位置反演方面是相当成功的。它的优点主要体现在对微地震波场的质量要求较低,对速度精度的要求也不高,反演的位置相对其他方法技术较为可靠。目前常用的技术方案主要为井中监测、地面监测和井中与地面结合监测三大类。理论上,这三类数据都可以应用最大能量叠加技术对微地震事件进行定位,但目前只有同型波场可以进行扫描叠加,还没有建立不同种类型的波场叠加后,找到可使其能量达到最大的震源位置的技术方法。

[0004] 应用最大能量叠加原理对微地震事件进行定位的三种微地震监测技术方案中,每种方案都具有自身的优点和缺陷。井中监测的优点是信号能量强,噪音水平低,可以很明确的确定微地震信号并利用其特征获得微地震事件位置;该方案固有的问题在于并非所有压裂井附近都有合适的观测井存在,特别是单一口井对微地震事件的反演所得到的裂缝分布受到采集器组对事件发生点的张角以及受到P波与S波速度精度的限制,因此,对微地震水平位置的确定具有较大的偏差。地面监测方案的优点是可以将采集器组放置在较为宽广的区域,从而得到相对于地下微地震位置较大的张角,在水平方向获得较为准确的反演位置;但缺点也是非常明显的,亦即,采集的信号极易受到地面人文和自然条件的干扰,从而对反演工作造成麻烦。近来,人们开始将地面测量和井中测量结合,获得了既有井中也有地面的微地震数据。毫无疑问,这种微地震采集方式对微地震事件的定位具有明显的优势,如何处理该数据,特别是将两项数据融合在一起进行微地震事件定位,对数据处理研究者却是个挑战。首先,井下微地震数据频率可达到 200Hz 或更高,地面微地震数据频率仅仅为 10-50Hz。按照通常做法,人们很难应用能量叠加方法将二者进行联合反演,所以出现了应用井下微地震事件标定地面微地震事件的方法。具体做法是通过井下的观测信号对地面的观测信号进行滤波处理,将压裂微震信号和地面干扰进行筛选区分,将放置在井中的检波器采集的信号作为整套系统采集信号的一个基准,用这个基准值来对地面拾震器所采集到

的信号进行识别,滤除干扰信号,提高地面信号的质量。这其实并不是联合反演处理,充其量也只是对数据进行参考性预处理。到目前为止,虽然已经有多项研究成果发表,但还没有见到合理的井下与地面数据联合反演的技术方法成功应用的实例。

[0005] 实际数据表明,按照通常的方法将地面采集到的微地震 P 波数据(频带范围大致为 10-60Hz)与井中采集到的微地震 P 波数据(频带范围大致为 80-250Hz)叠加一起时将使叠加效果变差。下图形象的说明了常规最大能量叠加技术的这一缺陷。

[0006] 图 1 中 A 表示地面数据,B 表示井中数据,二者经过校正已经将初至对齐。经过常规叠加,得到数据 C。分析 C 可见,振幅和能量严重畸变,频率特征变差,没有起到叠加的效果,达不到叠加的目的。所以到目前为止,人们还不能将井中数据与地面数据进行能量叠加,从而更好的利用最大能量法寻获震源点位置。

## 发明内容

[0007] 本发明根据微地震发生后,地面的 P 波波场(频带 20-50Hz)相对 S 波波场频率较高,而在井中 S 波波场(频带 30-100Hz)频率相对其 P 波相对较低,经过适当滤波后井中 S 波数据和地面 P 波数据的频率特征相近,以及井中 S 波场的能量和地面 P 波波场的能量在各自归一化以后二者叠加能量不发生畸变的特点,进行能量扫描叠加,达到找寻地下微地震源点位置的目的。该技术方案避免了井下微地震数据与地面微地震数据难以应用最大能量方法确定微地震位置的弊端。

[0008] 该技术方法的具体实施方案是将地下空间分成众多立体区域,并将其作为潜在的微地震震源点,计算该点到达地面采集器的 P 波走时和到达井下采集器的 S 波走时,然后将井中 S 波数据滤波,滤除较高频成分,并对地面和井中数据进行各自归一化处理,再进一步如常规最大能量叠加方法一样拾取微地震数据振幅并进行叠加。具有最大叠加能量的立方体中心可视为微地震发生的位置。

[0009] 本发明提供了一种测定微地震震源的方法,所述测定微地震震源的方法包含以下步骤:

[0010] (1) 地面采集 P 波波场数据,井下采集 S 波波场数据;

[0011] (2) 对地面采集到的 P 波波场数据和井下采集到的 S 波波场数据进行常规的预处理,包括去噪,静校正,振幅校正;如果是斜井三分量数据则需要对数据进行旋转,极化滤波等处理;

[0012] (3) 应用手工或自动方法对 P 波波场数据、S 波波场数据初至进行拾取,得到微地震信号的初至时间;

[0013] (4) 将地下待测空间划分成细小体积网格,可根据待测空间的大小将待测空间划分成数量适合的细小体积网格;

[0014] (5) 应用地面 P 波波场数据和井下 S 波波场数据依次在每个网格的中心点做相对测量点的 NMO 作业,P 波与 S 波速度预先可知;

[0015] (6) 应用固定时间窗,将 NMO 后地面微地震信号进行叠加,即

[0016]

$$Q = \left[ \frac{1}{l_1} \sum_{j=1}^{l_1} \left\{ \frac{1}{N} \left[ \sum_{i=1}^N A_{(x_i, t_j)} \right]^2 + \frac{1}{M-N} \left[ \sum_{i=N+1}^M A_{(x_i, t_j)} \right]^2 \right\} \right]^{\frac{1}{2}}$$

[0017] 其中： $l_1$  为时间窗口长度；

[0018]  $M$  为采集数据道数；

[0019]  $N$  为地面采集数据道数；

[0020]  $x$  为空间坐标变量；

[0021]  $t$  为时间坐标变量；

[0022]  $A$  为振幅值；

[0023]  $i, j$  分别为采集道数和时间采样点序号；

[0024]  $Q$  值即为叠加能量指数；

[0025] (7) 对比每个网格的中心点所得到的  $Q$  值, 获得最大  $Q$  值的网格点坐标, 并将该点坐标作为微地震震源位置输出。

[0026] 本发明所提供的测定微地震震源的方法, 针对具有多组微地震事件构成的微地震数据, 所述测定微地震的方法还包含按所述 (5)、(6)、(7) 步骤循环处理, 获得多个微地震事件的震源点, 实现定位目标。

[0027] 本发明所提供的测定微地震震源的方法, 所述的测定微地震震源的方法在完成步骤 (7) 后, 还可以包含将所述所获得最大  $Q$  值的网格进一步细分为更小的网格, 针对所述更小的网格重复 (5)、(6)、(7) 步骤。

[0028] 本发明根据微地震发生后, 地面的 P 波波场 (频带 20-50Hz) 相对 S 波波场频率较高, 而在井中 S 波波场 (频带 30-100Hz) 频率相对其 P 波相对较低, 经过适当滤波后井中 S 波数据和地面 P 波数据的频率特征相近, 以及井中 S 波场的能量和地面 P 波波场的能量在各自归一化以后二者叠加能量不发生畸变的特点, 进行能量扫描叠加, 达到找寻地下微地震震源点位置的目的。该技术方案避免了井下微地震数据与地面微地震数据难以应用最大能量方法确定微地震位置的弊端。

[0029] 该技术方法的具体实施方案是将地下空间分成众多立体区域, 并将其作为潜在的微地震震源点, 计算该点到达地面采集器的 P 波走时和到达井下采集器的 S 波走时, 然后将井中 S 波数据滤波, 滤除较高频成分, 并对地面和井中数据进行各自归一化处理, 再进一步如常规最大能量叠加方法一样拾取微地震数据振幅并进行叠加。具有最大叠加能量的立方体中心可视为微地震发生的位置。

[0030] 应用本发明方法, 我们将地面采集的水力压裂微地震数据与井下采集的数据合并, 联合反演了井下微震的位置, 效果很好。实际资料数据反演结果表明, 该项技术为利用地面与井下微地震联合数据进行最大能量叠加法反演震源位置提供了新的手段。

## 附图说明

[0031] 图 1 微地震信号样式图。

[0032] 图 2 本发明所提供的测定微地震震源方法的基本步骤示意图。

- [0033] 图 3 实测地面和井中微地震数据。
- [0034] 图 4 经过 NMO 后,地面微地震 P 波数据和井中微地震 S 波数据排列对齐状况。
- [0035] 图 5 为本地区卫星地形图和地面测点分布图。
- [0036] 图 6 为压裂监测成果图。

### 具体实施方式

[0037] 图 3 为实测的水力压裂微地震地面和井中 Z 分量数据。该数据经过了滤波和归一化处理,可见井中的 S 波波场数据与地面的 P 波波场数据在频率特征方面基本相似,频率范围大致在 25-70Hz 间。井中的 P 波成分频率较高,且由于检波器接收方向的原因,与 S 波相比 P 波能量较低;地面数据也由于是 Z 分量的原因,S 波的能量水平甚低。

[0038] 图 4 给出了经过 NMO 后,上述数据的排列状况。微地震事件定位最好的标志体现在初至对齐,图中可见地面和井下数据对应的峰值第一个主瓣已经排成一线;由于地面 P 波和井下 S 波数据的频率特征相近,主峰排列也基本形成一线。图中也见个别数据出现峰值偏离较大情况,如 21 道数据,这是因为该道数据相位反向,初至没有经过预先调整造成的结果,不属于本技术方法解决的问题。

[0039] 经过叠加分析,从能量叠加最大化过程中得到了微地震事件发生的位置,即

[0040]  $X = -7.5\text{m}, Y = 18.6\text{m}, Z = -736.9\text{m}$ 。

[0041] 压裂过程中,压裂点位置为:

[0042]  $X_0 = -6\text{m}, Y = 28\text{m}, Z = -744\text{m}$ 。

[0043] 由于该微地震事件是在刚刚开始压裂时形成,所以距离压裂点位置很近,说明反演的结果是完全正确的。

[0044] 在华北某天然气田开展了水力压裂井地联合监测实验,地面安置 37 只三分量检波器,井下安置 5 只三分量检波器。直井压裂,压裂目的层深度 740-748 米。监测井距压裂井水平距离 450 米,5 只检波器置井下 450-500 米位置。经过对射孔数据和测井的分析,获得该地区 P 波速度大致在 4000 米/秒左右,井下 S 波速度在 2450 米/秒左右。

[0045] 图 5 为本地区卫星地形图和地面测点分布图。该地区地形条件不好,高差相对可达到 200 米。沟底第四系河卵石与坡积物实测 2-5 米,坡上为中生界碎屑岩。

[0046] 采集的数据经过预处理后,应用本技术方法对微地震事件进行了定位反演。图 6 为应用本技术方法得到的水力压裂微地震事件反演成果俯视图。图中可见压裂早期微震事件主要集中在压裂点周围,然后沿北东东方向展开,后期压裂事件逐渐才向周围扩展,在主要裂缝发育的方向上还出现了与其相伴的共轭裂缝方向。这种现象可以应用当地地质条件和裂缝发育特点进行解释。

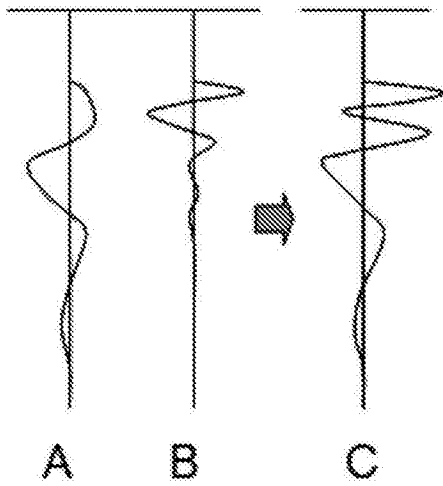


图 1

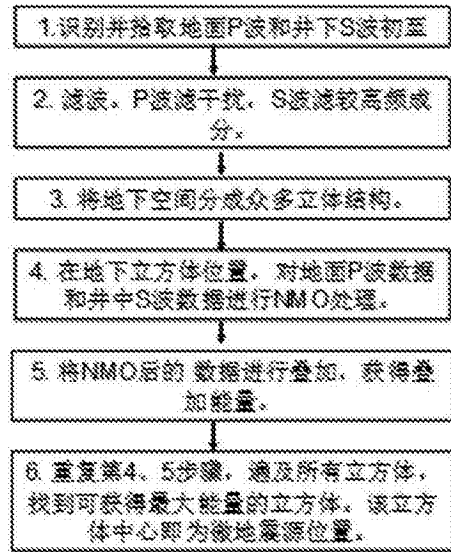


图 2

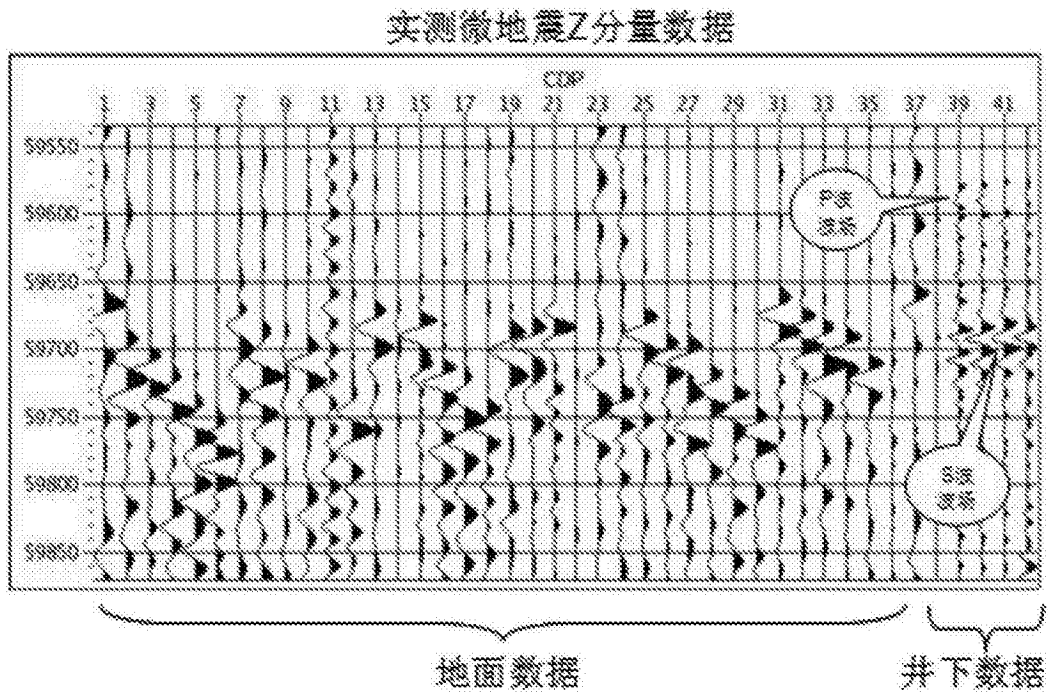


图 3

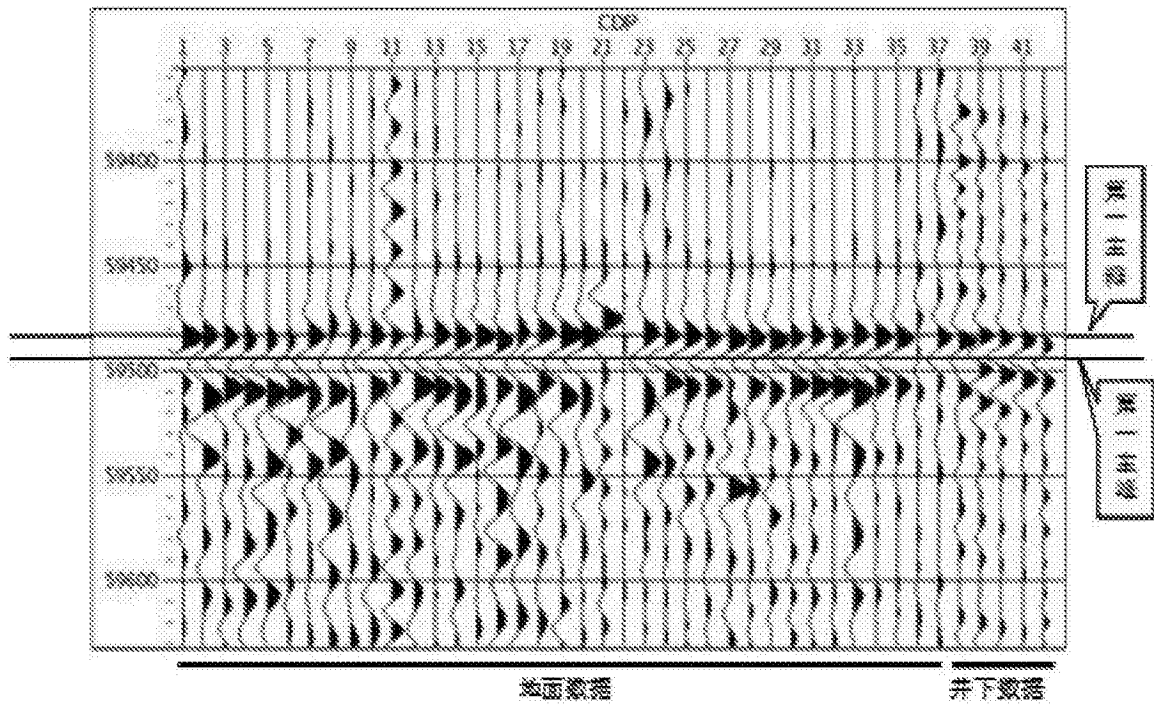


图 4

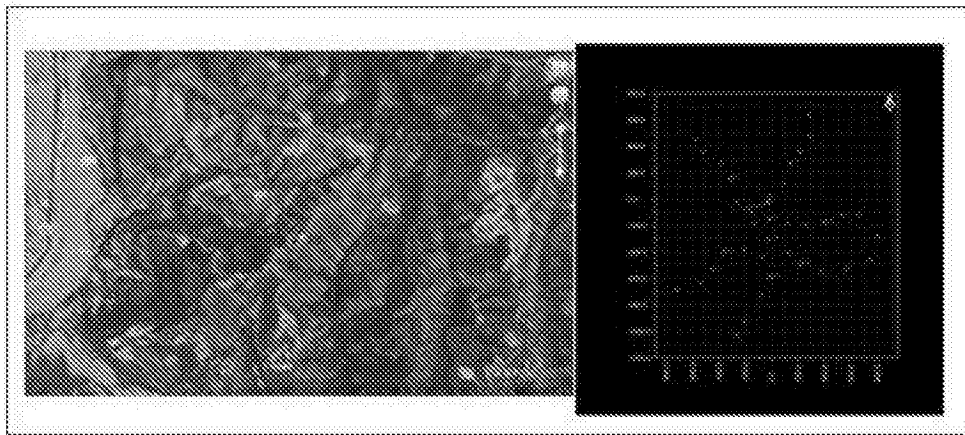


图 5



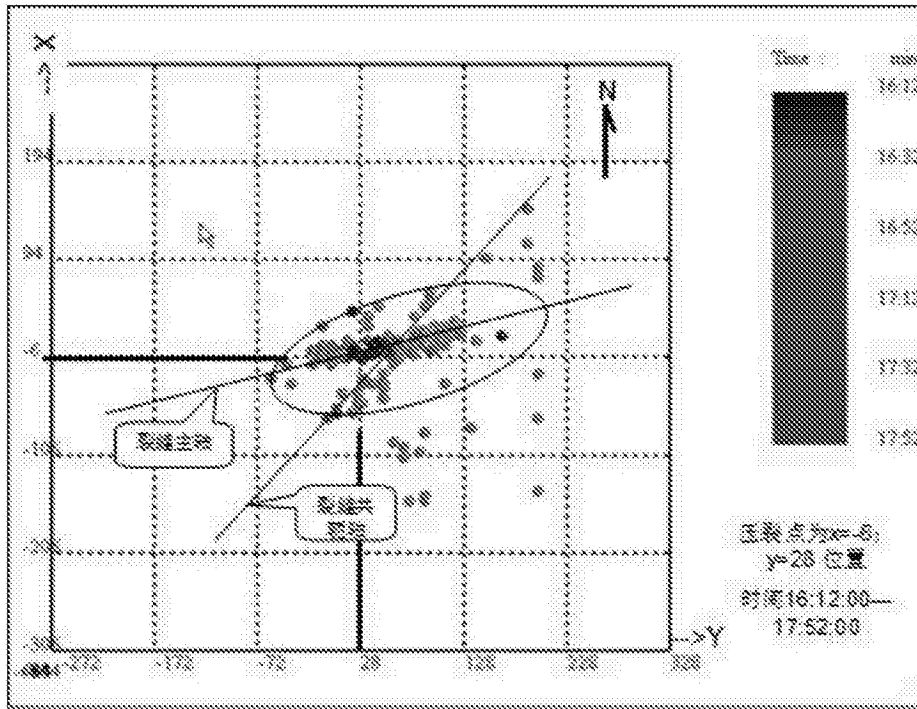


图 6