



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102262220 A

(43) 申请公布日 2011. 11. 30

(21) 申请号 201110109372. 4

(22) 申请日 2011. 04. 28

(71) 申请人 中南大学

地址 410083 湖南省长沙市岳麓区麓山南路  
932 号

(72) 发明人 李夕兵 董陇军 唐礼忠 宫凤强  
殷志强 严鹏

(74) 专利代理机构 长沙市融智专利事务所  
43114

代理人 黄美成

(51) Int. Cl.

G01S 5/20 (2006. 01)

权利要求书 1 页 说明书 3 页 附图 1 页

### (54) 发明名称

一种基于非线性拟合的微震源或声发射源的  
定位方法

### (57) 摘要

本发明公开了一种基于非线性拟合的微震源或声发射源的定位方法,将多个声发射传感器安放于待测对象的附近,根据已知传感器所在位置的坐标值和 P、S 波到时,根据距离运算公式及 P、S 波速度与时间关系式,可通过加速单纯形法或麦夸特法等非线性最小二乘回归方法求出微震源或声发射源的位置坐标。本发明的基于非线性拟合的微震源或声发射源的定位方法不用测量或预先给定速度,能避免测量声速给定位造成的影响,提高了定位精度,在实际工程应用中较传统方法方便实用。

1. 一种基于非线性拟合的微震源或声发射源的定位方法,其特征在于,在待测对象即微震源或声发射源的周边放置 N 个不处于同一平面的声发射传感器, N 个声发射传感器的三维位置坐标已知,分别为  $(x_1, y_1, z_1)$ 、 $(x_2, y_2, z_2)$ 、 $\dots$ 、 $(x_N, y_N, z_N)$ ; N 大于等于 5;

微震源或声发射源发声后,第 i 个声发射传感器感应到微震源或声发射源的发声讯号并分别记录下感应到该发声讯号的时刻, P 波和 S 波到达该声发射传感器的时刻分别为  $t_{\alpha i}$ ,  $t_{\beta i}$ , 共得到 N 组时间数据;

对于公式:

$$\frac{\left[ (x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2 + (z_0 - z_i)^2 + (x_0 - x_j)^2 + (y_0 - y_j)^2 + (z_0 - z_j)^2 \right]}{\vartheta^2} = (t_{\beta i} - t_{\alpha i})^2 + (t_{\beta j} - t_{\alpha j})^2; \quad \text{其}$$

中, i 和 j 取值为 1, 2,  $\dots$ , N, 且 i 不等于 j;  $(x_0, y_0, z_0)$  为微震源或声发射源的坐标, 参数  $\vartheta = \frac{\alpha\beta}{\alpha - \beta}$ , 其中  $\alpha$ ,  $\beta$  分别为 P 波、S 波速度; 上式中,  $(x_0, y_0, z_0)$  和  $\vartheta$  为未知量, 其余量为已知量; i 和 j 不同组合形成  $C_N^2$  组参数得到基于上式的  $C_N^2$  个方程;  $C_N^2$  表示 N 个值中任 2 个值的组合数;

根据该  $C_N^2$  个方程, 以  $(t_{\beta i} - t_{\alpha i})^2 + (t_{\beta j} - t_{\alpha j})^2$  为因变量, 以  $(x_0, y_0, z_0)$  及  $\vartheta$  为未知量, 采用非线性拟合方法得到震源微震源或声发射源的坐标  $(x_0, y_0, z_0)$ 。

2. 根据权利要求 1 所述的基于非线性拟合的微震源或声发射源的定位方法, 其特征在于, 所述的非线性拟合方法为加速单纯形法或麦夸特法。

## 一种基于非线性拟合的微震源或声发射源的定位方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于非线性拟合的微震源或声发射源的定位方法。

### 背景技术

[0002] 如何准确定位材料破损或岩爆前期伴随产生的微震 / 声发射源位置十分重要。微震 / 声发射的源定位技术是声发射技术研究的核心问题之一, 其定位准确程度反映声源检测位置与真实位置的符合程度。

[0003] 许多科学工作者对声发射的源定位进行了大量的研究, 提出了许多对声发射的源定位方法, 如基于模态分析和小波变换的定位方法、基于神经网络系统的定位方法等, 但目前的声发射仪器进行定位仍普遍采用传统的第 1 次门槛跨越技术时差定位方法, 该方法技术比较成熟, 但需要预先给定声速或实测声速。波的传播速度受到传播介质的材质、尺寸及表面状态等因素影响, 当输入的速度不同于被测物体中的真实速度时, 特别对于岩石介质复杂性, 将给系统定位带来误差, 另外, 实测声速受探头间距的大小影响也较大。

[0004] 总之, 在目前声发射仪及微震定位系统中还不能消除速度测量偏差给定位造成的影响。为解决这一问题, 有必要提出了一种不测速度的非线性定位的新方法, 可以不用测量速度, 能避免测量速度给定位造成的影响。

### 发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题是提出一种基于非线性拟合的微震源或声发射源的定位方法, 该基于非线性拟合的微震源或声发射源的定位方法不用测量或预先给定速度, 能避免测量声速给定位造成的影响, 提高了定位精度, 在实际工程应用中较传统方法方便实用。

[0006] 本发明的技术解决方案如下:

[0007] 一种基于非线性拟合的微震源或声发射源的定位方法, 在待测对象即微震源或声发射源的周边放置 N 个不处于同一平面的声发射传感器, N 个声发射传感器的三维位置坐标已知, 分别为  $(x_1, y_1, z_1)$ 、 $(x_2, y_2, z_2)$ 、 $\dots$ 、 $(x_N, y_N, z_N)$ ; N 大于等于 5;

[0008] 微震源或声发射源发声后, 第 i 个声发射传感器感应到微震源或声发射源的发声讯号并分别记录下感应到该发声讯号的时刻, P 波和 S 波到达该声发射传感器的时刻分别为  $t_{\alpha i}$ 、 $t_{\beta i}$ , 共得到 N 组时间数据;

[0009] 对于公式:

$$[0010] \quad \frac{\left[ (x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2 + (z_0 - z_i)^2 + (x_0 - x_j)^2 + (y_0 - y_j)^2 + (z_0 - z_j)^2 \right]}{\vartheta} = (t_{\beta i} - t_{\alpha i})^2 + (t_{\beta j} - t_{\alpha j})^2;$$

其中, i 和 j 取值为 1, 2,  $\dots$ , N, 且 i 不等于 j;  $(x_0, y_0, z_0)$  为微震源或声发射源的坐标, 参数  $\vartheta = \frac{\alpha\beta}{\alpha - \beta}$ , 其中  $\alpha$ ,  $\beta$  分别为 P 波、S 波速度;

[0011] 上式中,  $(x_0, y_0, z_0)$  和  $\vartheta$  为未知量, 其余量为已知量;

[0012] i 和 j 不同组合形成  $C_N^2$  组参数得到基于上式的  $C_N^2$  个方程;  $C_N^2$  表示 N 个值中任 2 个值的组合数;

[0013] 根据该  $C_N^2$  个方程, 以  $(t_{\beta i} - t_{\alpha i})^2 + (t_{\beta j} - t_{\alpha j})^2$  为因变量, 以  $(x_0, y_0, z_0)$  及  $\vartheta$  为未知量, 采用非线性拟合方法得到震源微震源或声发射源的坐标  $(x_0, y_0, z_0)$ 。

[0014] 所述的非线性拟合方法为加速单纯形法或麦夸特法 (Marquardt)。

[0015] 本发明的技术构思为: 在待测对象的附近放置 N 个不处于同一平面的声发射传感器, N 个声发射传感器的三维位置坐标已知, 分别为  $(x_1, y_1, z_1)$ 、 $(x_2, y_2, z_2)$ 、...、 $(x_N, y_N, z_N)$ ; N 大于等于 5;

[0016] 微震源或声发射源发声后, 台站的第 i 个传感器感应到微震源或声发射源的发声讯号并分别记录下感应到该发声讯号的时刻, P 波 S 波到时分别为  $t_{\alpha i}$ ,  $t_{\beta i}$ , 震源到台站 i 的距离为  $R_i$ 。

[0017] 采用均匀介质模型, 设 P 波、S 波速度分别为  $\alpha$ ,  $\beta$ , 假设参数  $\tilde{v} = \left( \frac{1}{\beta} - \frac{1}{\alpha} \right)^{-1} = \frac{\alpha\beta}{\alpha - \beta}$ , 则有:  $t_{\beta i} - t_{\alpha i} = \frac{R_i}{\beta} - \frac{R_i}{\alpha} = \frac{R_i}{\tilde{v}}$ , 从而

$$[0018] \quad R_i = \tilde{v} (t_{\beta i} - t_{\alpha i}) \quad (1)$$

$$[0019] \quad \text{对传感器 } i \text{ 有: } (x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2 + (z_0 - z_i)^2 = R_i^2, \quad (2)$$

$$[0020] \quad \text{对传感器 } j \text{ 有: } (x_0 - x_j)^2 + (y_0 - y_j)^2 + (z_0 - z_j)^2 = R_j^2. \quad (3)$$

[0021] 将方程 (2), (3) 求和, 可得:

[0022]

$$\frac{\left[ (x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2 + (z_0 - z_i)^2 + (x_0 - x_j)^2 + (y_0 - y_j)^2 + (z_0 - z_j)^2 \right]}{\vartheta^2} = (t_{\beta i} - t_{\alpha i})^2 + (t_{\beta j} - t_{\alpha j})^2 \quad (4)$$

[0023] 将方程 (4) 用于 5 个以上的传感器 (包括 5 个), 即得到一因变量为  $(t_{\beta i} - t_{\alpha i})^2 + (t_{\beta j} - t_{\alpha j})^2$ , 关于  $(x_0, y_0, z_0)$  及  $\vartheta$  的非线性拟合公式, 从而拟合得到震源位置。

[0024] 有益效果:

[0025] 本发明提出了一种基于非线性拟合的微震源或声发射源的定位方法, 本发明根据声发射源或微震源信号传播至传感器的时刻及传感器所监测点的坐标值, 巧妙地根据 P、S 波触发传感器时刻差与声发射或微震源坐标值的关系推导得到声发射或微震源的位置坐标公式。将传感器安放于待测对象的附近, 至少需要四个传感器, 安放的传感器不要在同一平面上。通过传感器测量声发射源或微震源信号到达安放点的时刻 (见附图 1)。因此建立起声发射源或微震源坐标, 传感器所在位置坐标, 各传感器之触发的 P、S 波时间差之间的关系式, 通过数据拟合, 即可以得到声发射源或微震源的位置坐标。

[0026] 本发明突破了过去传统的给定或测量速度的方法。波的传播速度受到传播介质的材质、尺寸、表面状态及探头间距等因素影响, 当输入的速度不同于被测物体中的真实速度时, 将给系统定位带来误差。本发明提出了一种非线性定位方法, 可以不用测量速度, 既能避免测量速度给定位带来的误差, 又能补充单纯 P 波定位信息不全面的缺陷, 经多处矿山的实际验证, 采用本发明方法的定位的平均误差为 5 米, 而现有定位方法的平均误差为 30

米。因而,本发明为声发射源或微震源的定位提供了一种简便可行、精确可靠、实用的新方法。

### 附图说明

[0027] 图 1 是三维条件下微震源或声发射源的微震源或声发射源的定位示意图。

[0028] 标号说明:1- 第一传感器,2- 第二传感器,3- 第三传感器,4- 第四传感器,5- 微震源或声发射源。

### 具体实施方式

[0029] 以下将结合附图和具体实施例对本发明做进一步详细说明:

[0030] 实施例 1:

[0031] 如图 1 所示,预设一微震源 / 声发射源的位置为 (200m, 300m, 600m), 5 个传感器的坐标  $(x_1, y_1, z_1)$ 、 $(x_2, y_2, z_2)$ 、 $(x_3, y_3, z_3)$ 、 $(x_4, y_4, z_4)$  与  $(x_5, y_5, z_5)$  分别为 (0, 0, 0), (800, 0, 0), (800, 800, 0), (0, 800, 0), (0, 0, 800), 单位均为 m。设 P、S 波的波速分别为 5600m/s, 3100m/s。P 波触发以上传感器的时刻分别为 0.125, 0.175872, 0.143969, 0.073627 秒; S 波触发以上传感器的时刻分别为 0.225806, 0.290323, 0.317705, 0.260073, 0.133003 秒。

[0032] 以本例对三维定位问题进行详细说明,实际定位时,已知量为五个传感器的坐标及传感器触发记录的时刻,微震源 / 声发射源的位置未知,在这里之所以给出,目的是通过本专利提出的方法进行验证。具体实施步骤如下:

[0033] (1) 将 5 个传感器布置在待测对象附近,且 5 个传感器的不在同一平面上,5 个传感器的坐标  $(x_1, y_1, z_1)$ 、 $(x_2, y_2, z_2)$ 、 $(x_3, y_3, z_3)$ 、 $(x_4, y_4, z_4)$ 、 $(x_5, y_5, z_5)$  分别为 (0, 0, 0), (800, 0, 0), (800, 800, 0), (0, 800, 0), (0, 0, 800)。P 波触发以上传感器的时刻分别为 0.125s, 0.175872s, 0.143969s, 0.073627s; S 波触发以上传感器的时刻分别为 0.225806s, 0.290323s, 0.317705s, 0.260073s, 0.133003s。

[0034] (2) 求出 5 个传感器接收到 S 与 P 波到时时间差,进而求得因变量  $(t_{\beta i} - t_{\alpha i})^2 + (t_{\beta j} - t_{\alpha j})^2$  的值,共有 10 组。

[0035] (3) 将以上 (1) 与 (2) 求出的 10 组值与相应传感器坐标,采用加速单纯形法或麦夸特法 (Marquardt) 中至少一种方法拟合下式中的 4 个未知量  $x_0, y_0, z_0, \theta_0$ :

$$\frac{\left[ (x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2 + (z_0 - z_i)^2 + (x_0 - x_j)^2 + (y_0 - y_j)^2 + (z_0 - z_j)^2 \right]}{\theta_0^2} = (t_{\beta i} - t_{\alpha i})^2 + (t_{\beta j} - t_{\alpha j})^2$$

[0036] 通过拟合可知  $x_0, y_0, z_0, \theta_0$  分别为 199.9935m, 299.9998m, 599.9988m, 6943.9935,  $x_0, y_0, z_0$  的值 (199.9935m, 299.9998m, 599.9988m) 即为定位结果,可见定位结果与预设的坐标 (200m, 300m, 600m) 吻合较好,定位精度高。

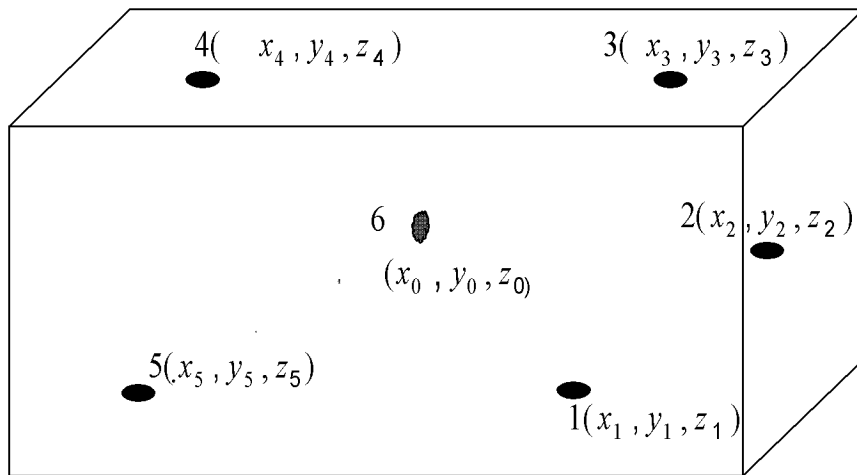


图 1