



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113514878 B

(45) 授权公告日 2022. 06. 24

(21) 申请号 202110780529.X

(22) 申请日 2021.07.09

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113514878 A

(43) 申请公布日 2021.10.19

(73) 专利权人 长沙矿山研究院有限责任公司
地址 410012 湖南省长沙市岳麓区麓山南路343号

(72) 发明人 胡静云 黄英华 吴亚斌 彭府华
杨顺 喻威 刘博

(74) 专利代理机构 长沙永星专利商标事务所
(普通合伙) 43001
专利代理师 周咏 米中业

(56) 对比文件

CN 106353805 A, 2017.01.25

CN 110133714 A, 2019.08.16

CN 110308485 A, 2019.10.08

CN 113050159 A, 2021.06.29

US 2020284934 A1, 2020.09.10

US 2014379304 A1, 2014.12.25

李保林.煤矿微震与爆破信号特征提取及识别研究.《中国优秀博硕士学位论文全文数据库(硕士) 工程科技I辑》.2017,(第02期),B021-360.

谢九敬.三道庄矿微震信号辨识应用研究.《中国钨业》.2016,第31卷(第01期),第47-51页.

审查员 蒋健君

(51) Int. Cl.

G01V 1/28 (2006.01)

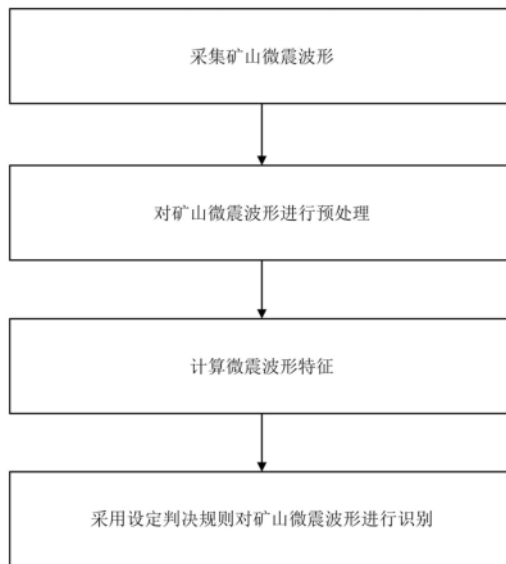
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种矿山微震波形类型自动识别方法

(57) 摘要

本发明公开了一种矿山微震波形类型自动识别方法,包括采集矿山微震波形;对矿山微震波形进行预处理;计算微震波形特征;采用设定判决规则对矿山微震波形进行识别。本发明通过对于不同信号模式类的分类,分别为凿岩、无轨设备行驶、溜井倒矿和倒渣、电磁干扰、爆破和有效信号,提高了对不同波形特征识别的效率和速度,并且能持续性地对大量微弱的前兆信号进行准确识别和分析,并且本方法的识别准确率高,提高了矿山区域的安全性。



1. 一种矿山微震波形类型自动识别方法,其特征在于包括如下步骤:

S1. 采集矿山微震波形;

S2. 对矿山微震波形进行预处理;

S3. 计算微震波形特征;

S4. 采用设定判决规则对矿山微震波形进行识别;

所述的步骤S3包括如下步骤:

A1. 计算波形持续时间 t_c ;

A2. 计算两个独立波形之间的间隔时间 Δt ;

A3. 计算波形主频 f_{\pm} ;

所述的步骤S4中,设定判决规则具体包括:

当 $22.5\text{ms} \leq \Delta t \leq 27.5\text{ms}$ 时,判决矿山微震波形类型为凿岩;

当 $t_c \geq 2000\text{ms}$ 时,判决矿山微震波形类型为无轨设备;

当矿山微震波形总持续时间长度处于 1500ms 到 7000ms ,且内有单独事件个数处于6到25时,判决微震波形为溜井倒矿或倒渣;其中,单独事件具体表示紧邻的一对初至到时 T_0 与终止到时 T_2 界定的事件;

当 $t_c < 8\text{ms}$ 或 $f_{\pm} \leq 80\text{Hz}$ 时,判决矿山微震波形类型为电磁干扰;

当 $t_c \geq 100$ 且 $100 \leq f_{\pm} \leq 900\text{Hz}$ 时,判决矿山微震波形类型为爆破;

当 $8 \leq t_c \leq 52\text{ms}$ 时,判决矿山微震波形类型为有效信号中的小能量事件;

有效信号中的大能量事件的设定判决规则采用排除法,除上述任一模式类的矿山微震波形类型识别为有效信号中的大能量事件;并对识别结果进行预警。

2. 根据权利要求1所述的矿山微震波形类型自动识别方法,其特征在于所述的步骤S2的预处理具体包括,定义参数 λ :

$$\lambda = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i|}{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m |x_j|}$$

其中, λ 表示短时窗口内所有采样点的幅值的绝对值的平均值与长时窗口内所有采样点的幅值的绝对值的平均值的比值; x_i 表示短时窗口的第 i 个采样点的幅值, $i=1,2,\dots,n$; x_j 表示长时窗口的第 j 个采样点的幅值, $j=1,2,\dots,m$;设置当 $\lambda \geq 3$ 时,时间窗口的起点为突发型信号波形的初至到时 T_0 ;

定义突发型信号波形的终止时刻为 T_2 :在时间轴上移动的短时窗口,定义参数

$$\varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i|,$$

其中, x_i 表示短时窗口的第 i 个采样点的幅值, $i=1,2,\dots,n$; ε 表示短时窗口内所有采样点的幅值的绝对值的平均值,当短时窗口内所有采样点的幅值的绝对值的平均值小于1.6倍的背景噪声的幅值时,设置该短时窗口的起点为突发型信号波形的终止时刻 T_2 。

3. 根据权利要求2所述的矿山微震波形类型自动识别方法,其特征在于所述的步骤A1,波形持续时间 t_c 具体为,

$$t_c = T_2 - T_0$$

其中,突发型信号波形的初至到时为 T_0 ;突发型信号波形的终止时刻为 T_2 。

4.根据权利要求3所述的矿山微震波形类型自动识别方法,其特征在于所述的步骤A2,两个独立波形之间的间隔时间 Δt 具体为 $\Delta t = T_0'' - T_0'$,其中,设相邻两个独立波形各自的初至到时间分别为 T_0'' 和 T_0' , T_0' 表示前一个波形的初至到时间, T_0'' 表示后一个波形的初至到时间。

5.根据权利要求4所述的矿山微震波形类型自动识别方法,其特征在于所述的步骤A3,具体为对于任意截取的一段波形,其采样率为 f_s ,采用离散傅里叶变换算法,选取变换后最大幅值所对应的频率称为这一段波形的主频 f_{\pm} 。

一种矿山微震波形类型自动识别方法

技术领域

[0001] 本发明属于矿山领域,具体涉及一种矿山微震波形类型自动识别方法。

背景技术

[0002] 在矿山有诸多类型的岩石力学问题需要进行监测预警,例如矿柱变形破裂、顶板冒顶、岩质边坡滑坡、地采转露采隔离台阶稳定性等静力学问题,岩爆、冲击地压、矿震、大面积来压、断层活化等动力问题,特别是在深部矿产资源开发方面,深井高地应力矿山岩体动力灾害的监测与防治是艰巨的技术难题。另外随着人类对地下空间开发利用需求的增多,例如交通隧洞、水电站洞群与大坝、高压油气储存洞穴等,复杂工程条件下的岩体工程力学问题越来越多且难,对岩体力学行为进行准确监测的需求日益增加。由于岩石的基本秉性是脆性,具有在达到强度极限时应变率很小、塑性变形量占总变形量的比例很小等特点,微地震监测技术相比应力、应变、位移等监测手段,能更灵敏地、更早地与更全面地获取到脆性岩体宏观破裂前的微破裂孕育发展过程,是当今国际上对岩石材料的塑性变形、损伤与破裂演化过程进行监测预警分析最重要与最有效的方法。

[0003] 针对一个具体的岩体结构工程,微震监测系统建设好后,破裂震源向空间释放的弹性波被单个或多个探头感应接收到,经采集与传输,形成最原始的微地震信号波形。根据工程背景噪声、震源与传播路径的不同,最原始的微地震信号波形信噪比高低不等,有的信号波形存在干扰、叠加与畸变。对微震波形的数据处理流程主要有:信号检测与触发、波形识别、滤噪或提高信噪比、震相识别、P波S波到时选取、定位计算、震源参数计算、震源机制反演、b值与主成分分析、频度统计等,其中处于首要核心地位的是波形识别:反映岩石破裂与损伤的震源释放的有效微震信号,能无一遗漏地被识别提取出来;岩体结构所处的环境中干扰源所产生的震动信号,不能被误识别为有效信号,从而得到对岩体结构微破裂孕育与发展状态及趋势最准确的数据解释。但是目前在矿山微地震/声发射监测技术的实际应用过程中,还没有实现对有效信号与噪音信号的自动识别,只能采用人工经验识别的方法把有效信号识别提取出来,这需要技术人员具有较高的技术素质并花费大量的时间与精力,且识别效率非常低,绝大部分的矿山无法做到这一点,以至于经常性地对重要的、始于微弱的大量前兆信号无法进行及时准确的识别与分析,造成了安全上不可挽回的损失,严重制约了微地震监测技术的应用效果与推广普及。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种矿山微震波形类型自动识别方法,该方法能够实时高效、快速地识别矿山微震波形。

[0005] 本发明提供的这种一种矿山微震波形类型自动识别方法,包括如下步骤:

[0006] S1. 采集矿山微震波形;

[0007] S2. 对矿山微震波形进行预处理;

[0008] S3. 计算微震波形特征;

[0009] S4.采用设定判决规则对矿山微震波形类型进行识别。

[0010] 所述的步骤S2的预处理具体包括,定义参数 λ :

$$[0011] \quad \lambda = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i|}{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m |x_j|}$$

[0012] 其中, λ 表示短时窗口内所有采样点的幅值的绝对值的平均值与长时窗口内所有采样点的幅值的绝对值的平均值的比值; x_i 表示短时窗口的第*i*个采样点的幅值, $i=1,2,\dots,n$; x_j 表示长时窗口的第*j*个采样点的幅值, $j=1,2,\dots,m$;设置当 $\lambda \geq 3$ 时,时间窗口的起点为突发型信号波形的初至到时 T_0 ;

[0013] 定义突发型信号波形的终止时刻为 T_2 :在时间轴上移动的短时窗口,定义参数

$$\varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i|,$$

[0014] 其中, x_i 表示短时窗口的第*i*个采样点的幅值, $i=1,2,\dots,n$; ε 表示短时窗口内所有采样点的幅值的绝对值的平均值,当短时窗口内所有采样点的幅值的绝对值的平均值小于1.6倍的背景噪声的幅值时,设置该短时窗口的起点为突发型信号波形的终止时刻 T_2 。

[0015] 所述的步骤S3包括如下步骤:

[0016] A1.计算波形持续时间 t_c ;

[0017] A2.计算两个独立波形之间的间隔时间 Δt ;

[0018] A3.计算波形主频 f_{\pm} 。

[0019] 所述的步骤A1,波形持续时间 t_c 具体为,

$$[0020] \quad t_c = T_2 - T_0$$

[0021] 其中,突发型信号波形的初至到时为 T_0 ;突发型信号波形的终止时刻为 T_2 。

[0022] 所述的步骤A2,两个独立波形之间的间隔时间 Δt 具体为 $\Delta t = T_0'' - T_0'$,其中,设相邻两个独立波形各自的初至到时分别为 T_0'' 和 T_0' , T_0' 表示前一个波形的初至到时, T_0'' 表示后一个波形的初至到时。

[0023] 所述的步骤A3,具体为对于任意截取的一段波形,其采样率为 f_s ,采用离散傅里叶变换算法,选取变换后最大幅值所对应的频率称为这一段波形的的主频 f_{\pm} 。

[0024] 所述的步骤S4中,设定判决规则具体包括:

[0025] 当 $22.5\text{ms} \leq \Delta t \leq 27.5\text{ms}$ 时,判决矿山微震波形类型为凿岩;

[0026] 当 $t_c \geq 2000\text{ms}$ 时,判决矿山微震波形类型为无轨设备;

[0027] 当矿山微震波形总持续时间长度处于1500ms到7000ms,且内有单独事件个数处于6到25时,判决微震波形为溜井倒矿或倒渣;其中,单独事件具体表示紧邻的一对初至到时 T_0 与终止到时 T_2 界定的事件;

[0028] 当 $t_c < 8\text{ms}$ 或 $f_{\pm} \leq 80\text{Hz}$ 时,判决矿山微震波形类型为电磁干扰;

[0029] 当 $t_c \geq 100$ 且 $100 \leq f_{\pm} \leq 900\text{Hz}$ 时,判决矿山微震波形类型为爆破;

[0030] 当 $8 \leq t_c \leq 52\text{ms}$ 时,判决矿山微震波形类型为有效信号中的小能量事件;

[0031] 有效信号中的大能量事件的判决规则采用排除法,除上述任一模式类的矿山微震

波形类型识别为有效信号中的大能量事件;并对识别结果进行预警。

[0032] 本发明提供的这种矿山微震波形类型自动识别方法,通过对于不同信号模式类的分类,提高了对不同波形特征识别的效率和速度,并且能持续性地对大量微弱的前兆信号进行准确识别和分析,并且本方法的识别准确率高。

附图说明

[0033] 图1为本发明系统的结构示意图。

[0034] 图2为本发明实施例的有效信号模式类中大能量事件子集的典型波形示意图。

[0035] 图3为本发明实施例的有效信号模式类小能量事件子集的典型识别特征波形持续时间的分布概率直方图。

[0036] 图4为本发明实施例的爆破模式类与有效信号模式类的识别特征波形主频的分布概率直方图。

具体实施方式

[0037] 如图1为本发明方法的流程示意图:本发明提供的这种矿山微震波形类型自动识别方法,包括如下步骤:

[0038] S1.采集矿山微震波形;

[0039] S2.对矿山微震波形进行预处理;

[0040] 幅值与频率均随着时间参量快速变化的波形称为突发型信号,幅值或频率随时间参量基本不发生变化的波形称为连续性信号,在本实施例中,识别的对象均属于突发型信号;如图3为本发明实施例的爆破模式类与有效信号模式类的识别特征波形主频 f_{\pm} 的分布概率直方图。在矿山微震监测领域,对于突发型信号,背景噪声为白噪声,即幅值与频率随时间呈现随机分布;本实施例在金属矿山微震监测中所采用的仪器设备,一般背景噪声为幅值为3~5mV的白噪声。当一个突发型信号被检测到时,初至到时 T_0 的定义如下:在时间轴上有两个移动的时间窗口,分别为短时窗口(SAT)和长时窗口(LAT),短时窗口与长时窗口的时间起点是相同的;一般情况下,短时窗口的时间长度取30ms,长时窗口的时间长度取100ms;设短时窗口的采样点的幅值为 x_i ($i=1,2,\dots,n$),短时窗口的数量为 n ;设长时窗口的采样点的幅值为 x_j ($j=1,2,\dots,m$);

[0041] 步骤S2的预处理具体包括,定义参数 λ :

$$[0042] \quad \lambda = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i|}{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m |x_j|}$$

[0043] 其中, λ 表示短时窗口内所有采样点的幅值的绝对值的平均值与长时窗口内所有采样点的幅值的绝对值的平均值的比值; x_i 表示短时窗口的第 i 个采样点的幅值; x_j 表示长时窗口的第 j 个采样点的幅值; $i=1,2,\dots,n$; $j=1,2,\dots,m$;在没有突发型信号进入窗口时,即仅在白噪声的情况下, $\lambda \approx 1$;同时一般设置当 $\lambda \geq 3$ 时,时间窗口(时间窗口为长时窗口和短时窗口均可,长时窗口和短时窗口的起点一致)的起点为突发型信号波形的初至到时 T_0 ;

[0044] 定义信号突发型信号波形的终止时刻为 T_2 ,在时间轴上移动的短时窗口,由于正常情况下背景噪声的幅值为3~5mv,定义参数 $\varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i|$,

[0045] 其中, x_i 表示短时窗口的第*i*个采样点的幅值, $i=1,2,\dots,n$; ε 表示短时窗口内所有采样点的幅值的绝对值的平均值, $\varepsilon \leq 1.6 \times 5\text{mv}$ 时,即短时窗口内所有采样点的幅值的绝对值的平均值小于1.6倍的背景噪声的幅值时,该短时窗口的起点为突发型信号波形的终止时刻 T_2 ;

[0046] S3.计算微震波形特征,包括如下步骤:

[0047] A1.计算波形持续时间 t_c ;

[0048] $t_c = T_2 - T_0$

[0049] 其中,突发型信号波形的初至到时为 T_0 ,突发型信号波形的终止时刻为 T_2 ;

[0050] A2.计算两个独立波形之间的间隔时间 Δt ;设相邻两个独立波形各自的初至到时间分别为 T_0'' 和 T_0' ,其中 T_0' 表示前一个波形的初至到时间, T_0'' 表示后一个波形的初至到时间。

[0051] $\Delta t = T_0'' - T_0'$

[0052] A3.计算波形主频 f_{\pm} ,对于任意截取的一段波形,其采样率为 f_s ,采用离散傅里叶变换算法,能得到一个三角级数来等价于这一波形的幅值,三角级数是频率间距等距离散的一系列余弦函数,其幅值与相位各不相同,不同频率对应的幅值称为频谱分布,最大幅值所对应的频率称为这一段波形的的主频 f_{\pm} 。

[0053] S4.采用设定判决规则对矿山微震波形进行识别;

[0054] 设定判决规则具体包括:

[0055] 当 $22.5\text{ms} \leq \Delta t \leq 27.5\text{ms}$ 时,判决矿山微震波形类型为凿岩;

[0056] 当 $t_c \geq 2000\text{ms}$ 时,判决矿山微震波形类型为无轨设备;

[0057] 当矿山微震波形总持续时间长度处于1500ms到7000ms,且内有单独事件个数处于6到25时,判决微震波形为溜井倒矿或倒渣;其中,单独事件具体表示紧邻的一对初至到时间 T_0 与终止到时间 T_2 界定的事件;

[0058] 当 $t_c < 8\text{ms}$ 或 $f_{\pm} \leq 80\text{Hz}$ 时,判决矿山微震波形类型为电磁干扰;

[0059] 当 $t_c \geq 100$ 且 $100 \leq f_{\pm} \leq 900\text{Hz}$ 时,判决矿山微震波形类型为爆破;

[0060] 当 $8 \leq t_c \leq 52\text{ms}$ 时,判决矿山微震波形类型为有效信号中的小能量事件;

[0061] 有效信号中的大能量事件的判决规则采用排除法,除上述任一模式类的矿山微震波形类型识别为有效信号中的大能量事件;并对识别结果进行预警;其中,矿柱、空区顶板与断层或其他起到结构稳定性支撑作用的岩体,在应力调整与重分布过程中岩体结构发生应力增加、变形、损伤,最后以塑性变形的破裂的形式向外界传播弹性应力波的过程,有效信号表示该弹性应力波;小能量事件震源破裂尺度小、释放能量少、震级大约在-1级以下;大能量事件震源破裂尺度大、释放能量多、震级大约在-1级以上。

[0062] 在本实施例中,本发明采用的设定判决规则的分类如表1所示:

[0063] 表1矿山微震波形特征模式设定判决规则

序号	模式类	设定判决规则	识别特征类型	识别准确率 (统计值)
1	凿岩	$22.5 \leq \text{波形间隔时间 } \Delta t \leq 27.5 \text{ms}$	典型识别特征	90.8%
2	无轨设备行驶	波形持续时间 $t_c \geq 2000 \text{ms}$	典型识别特征	99%
3	溜井倒矿或倒渣	总持续时间长度处于 1500ms 至 7000ms、且内有单独事件个数处于 6 至 25 个的范围	典型识别特征	100%
4	电磁干扰	波形持续时间 $t_c < 8 \text{ms}$ 或主频 $f_{\pm} \leq 80 \text{Hz}$	典型识别特征	99%
5	爆破	$100 \leq t_c$ 且 $100 \leq \text{主频 } f_{\pm} \leq 900 \text{Hz}$	一般综合性识别特征	89%
6	有效信号	小能量事件 $8 \leq t_c \leq 52 \text{ms}$	典型识别特征	95.2%
	大能量事件	排除法, 即特征值不满足上述任一模式类	一般综合性识别特征	89%

[0065] 在本实施例中, 设定判决规则可以采用如下步骤求得:

[0066] 步骤一、分析矿山环境特点: 首先, 矿山工程背景噪声种类繁多、时间持续, 因此, 在矿山采矿环境里, 震动噪音主要受采矿方法工艺、采用的机械设备等因素控制, 各种作业类型繁多, 例如凿岩、爆破、无轨铲运设备的行驶、有轨电机车的运行、溜井倒矿或倒渣、鼓风机与水泵的运行、地下水的流动、工人的随机敲打和微震监测系统与信号传输线路上的电气干扰等, 一般24小时不间断, 少数矿山一天仅作业12小时或16小时, 提供了监测环境。

[0067] 步骤二、分析待识别模式类的发生机制及特点: 通过梳理矿山采矿作业流程内各工序, 一般来说, 产生震动的最频繁、最主要、数量较多的待识别模式类主要有以下六类; 不同模式类的识别特征应具有深刻的物理意义, 能最大程度地表达待识别模式类的独特特点, 不同类别包括: 凿岩、爆破、无轨设备行驶 (例如铲运机和运矿卡车)、溜井倒矿或倒渣、仪器设备自身与信号电缆线路上的电磁干扰产生的脉冲电压、有效信号和其他次要少量的干扰源。图2为本发明实施例的有效信号模式类中大能量事件子集的典型波形示意图。

[0068] 步骤三、采用模式识别和历史数据, 模式识别是一种计算机自动技术, 可自动地或

者人尽可能少干预地把待识别模式归入到相应的模式类中去。人们之所以能进行这样的辨识,原因在于不同事物都具有不同的物理特征及结构特征,如果能把事物的关键特征抽取出来,以不同的特征组合代表不同的事物,并且用适当的形式表示出来,就有可能使计算机具有识别能力,使它能区分不同的事物。像这样用事物的特征所构成的数据结构就称为相应事物的模式,模式是对事物定量的或结构的描述。模式识别的识别过程为一个决策的过程,对待识别模式的特征进行判定,从而决定所属的模式类别;用 ω_i ($i=1,2,\dots,n$) 表示论域上模式空间 Ω 中的一个模式类, X 为待识别模式的特征描述,则模式识别所要做的工作就是把待识别模式归入到它所属的模式类 ω_i 中去,即 $\omega(X) = \omega_i$;例如凿岩波形、爆破波形与有效信号波形各属于一个模式类,对于爆破模式类 $\omega_{\text{爆破}}$,由于装药结构、药量、传播路径和岩层的非均质性等因素的变化,在每个确定的传感器获得的每一个具体的爆破波形 X ,即待识别模式,其具体的波形形态是各有不同的,其抽取出的特征值描述有一个分布范围。如图2为本发明实施例的有效信号模式类中大能量事件子集的典型波形示意图,图2中的共震源来自矿山特大山体滑移。如图3为本发明实施例的有效信号模式类小能量事件子集的典型识别特征波形持续时间的分布概率直方图。如图4为本发明实施例的爆破模式类与有效信号模式类的识别特征波形主频的分布概率直方图。

[0069] 步骤四、进行特征提取和特征值统计;针对步骤二的不同的待识别模式类,每一类在矿山现场收集了约200条具体的波形样本;收集的原则为,普通与典型相结合,时间跨度在一天内并且均匀,对规律性较强的震源波形(凿岩)少收集;计算出每个模式类各具体模式的特征值,并进行统计;最后通过专家分析和应用实践,抽取各模式类的典型识别特征或组合识别特征,并得到特征值的分布范围,构建表1的设定判决规则,并如表1所示对矿山微震波形进行识别,并得出本发明方法在实际应用中准确度较高。

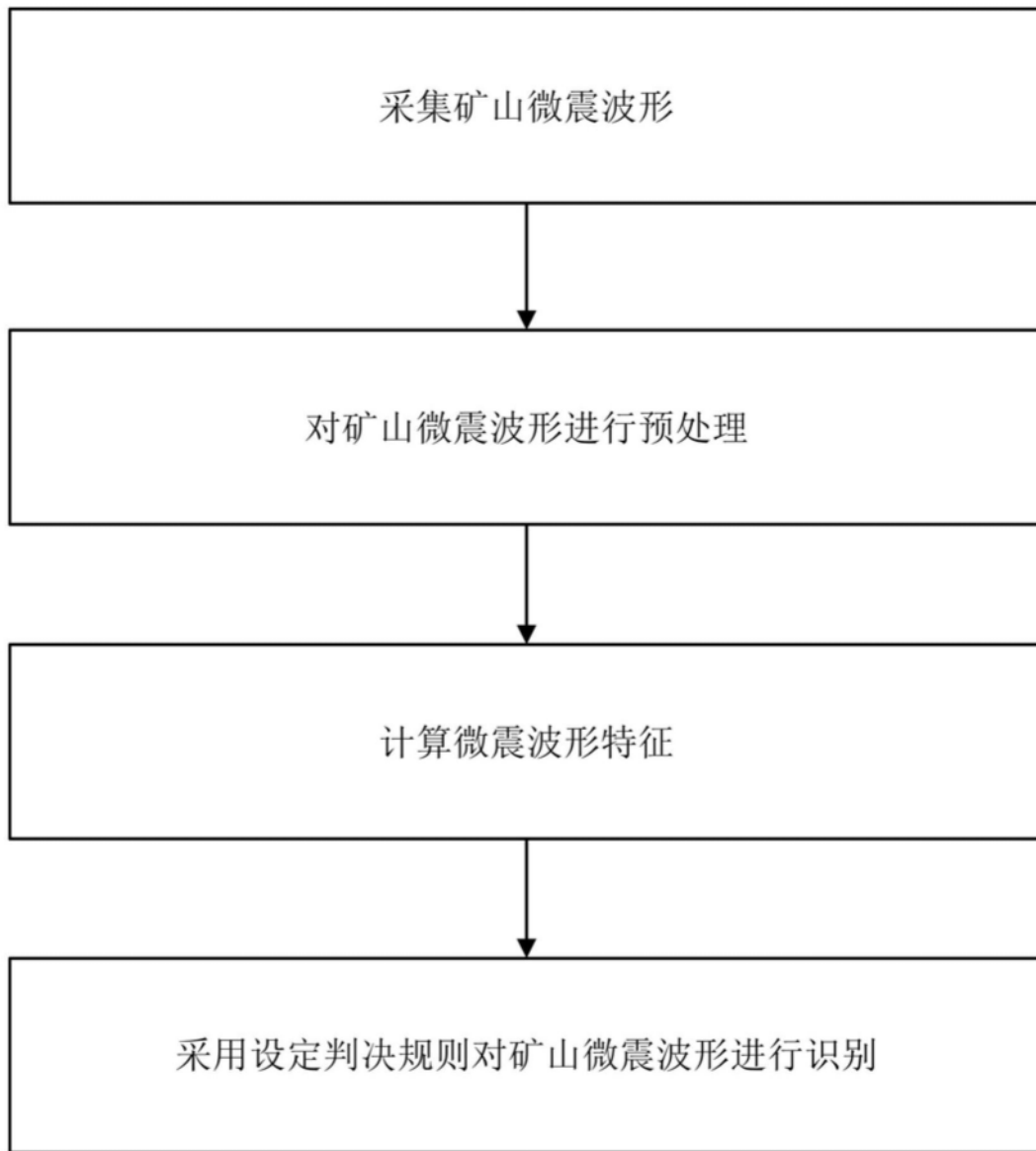


图1

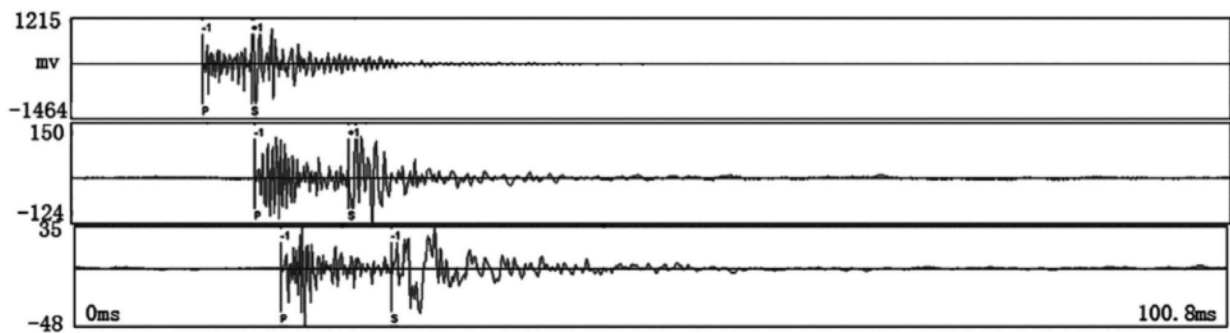


图2

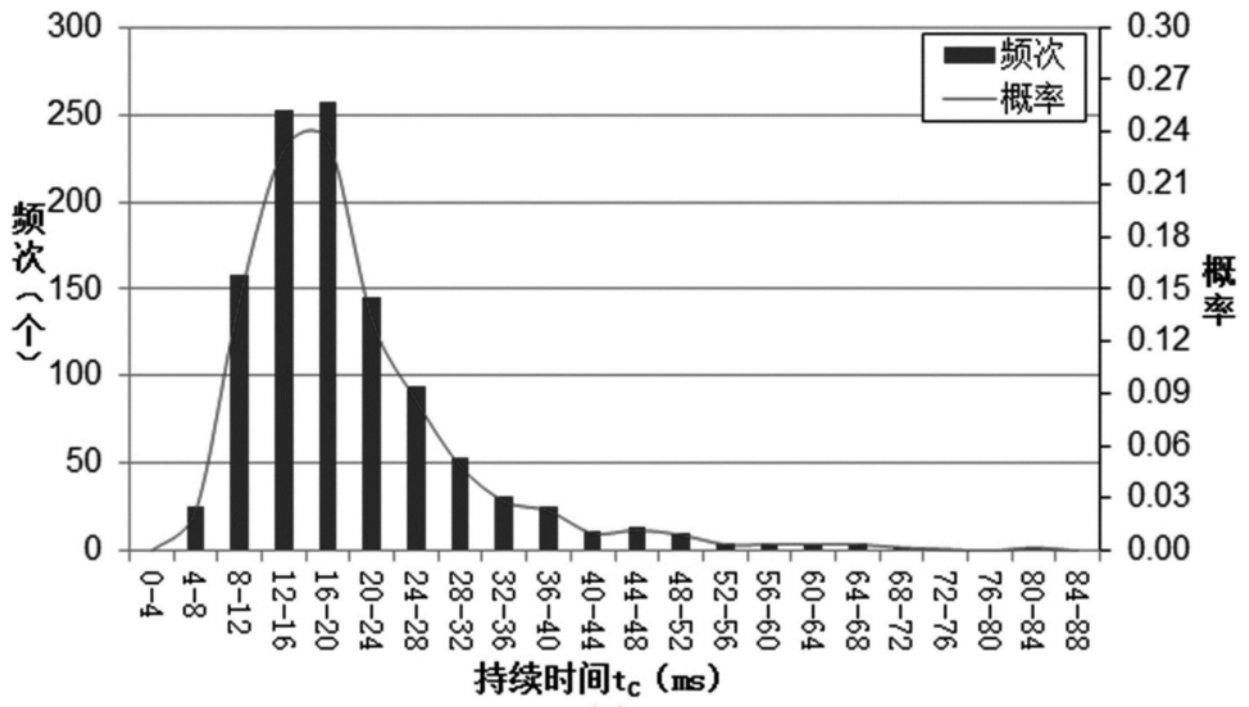


图3

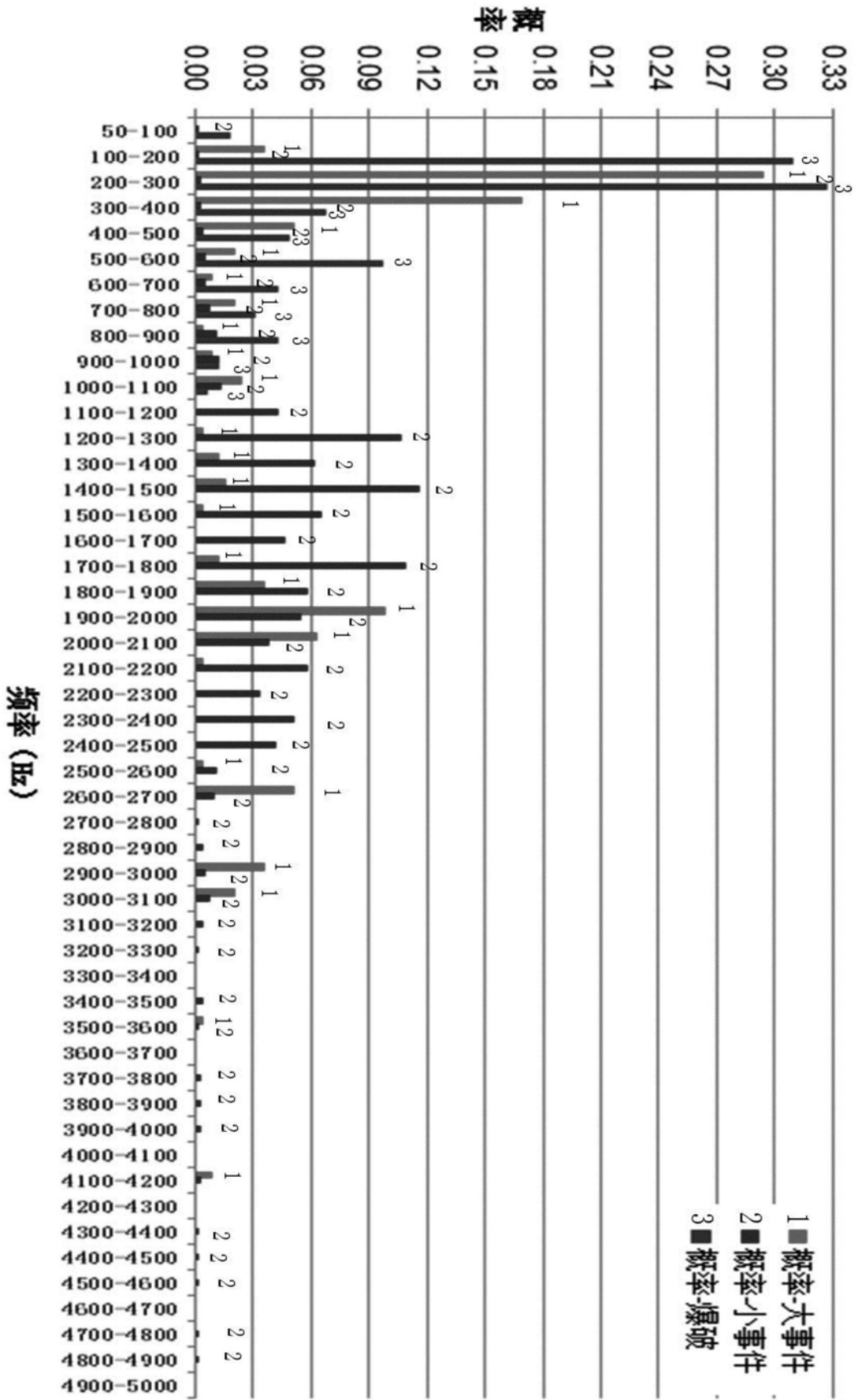


图4