

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局



(10) 国际公布号

WO 2020/220416 A1

(43) 国际公布日
2020 年 11 月 5 日 (05.11.2020)

(51) 国际专利分类号:
G01V 1/28 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/088270

(22) 国际申请日: 2019 年 5 月 24 日 (24.05.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201910348744.5 2019 年 4 月 28 日 (28.04.2019) CN

(71) 申请人: 山东科技大学 (SHANDONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号山东科技大学, Shandong 266590 (CN)。

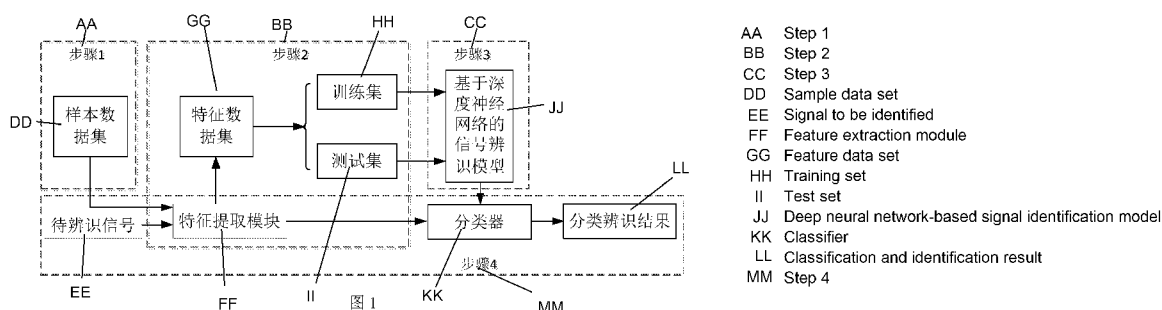
(72) 发明人: 张杏莉 (ZHANG, Xingli); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266590 (CN)。 赵震华 (ZHAO, Zhenhua); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266590 (CN)。 卢新明 (LU, Xinming); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266590 (CN)。 贾瑞生 (JIA, Ruisheng); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266590 (CN)。

(74) 代理人: 济南知来知识产权代理事务所 (普通合伙) (JI'NAN ZHILAI INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY (GENERAL PARTNER)); 中国山东省济南市市中区经五小纬二路 66 号财富自由港商务大厦 909 室, Shandong 250001 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU,

(54) Title: DEEP LEARNING-BASED MICRO-SEISMIC SIGNAL CLASSIFICATION AND IDENTIFICATION METHOD

(54) 发明名称: 一种基于深度学习的微震信号分类辨识方法



(57) Abstract: A deep learning-based micro-seismic signal classification and identification method, comprising the following steps: step 1, establishing a sample database of micro-seismic signals and blasting signals; step 2, extracting features of dominant frequency, post-peak attenuation coefficient and energy centroid coefficient of sample signals, so as to form a sample feature data training set and a test set; step 3, using the sample feature data training set to train a deep neural network classification and identification model, using test set data to verify a classification and identification effect of a signal classification and identification model, and continuously improving the classification accuracy by means of cross training; and step 4, extracting a feature vector of a signal to be identified, and inputting same into the signal classification model to obtain an identification result. The method has the characteristics of simple algorithm, high adaptability and real-time performance, and high identification accuracy, and can effectively classify coal mine micro-seismic signals and blasting signals.

(57) 摘要: 一种基于深度学习的微震信号分类辨识方法, 包括以下步骤: 步骤1、建立微震信号与爆破信号的样本数据库; 步骤2、提取样本信号的主频、峰后衰减系数和能量重心系数特征, 构成样本特征数据训练集和测试集; 步骤3、使用样本特征数据训练集训练深度神经网络分类辨识模型, 利用测试集数据验证信号分类辨识模型的分类辨识效果, 并通过交叉训练不断提升分类精度; 步骤4、提取待辨识信号的特征向量, 输入信号分类模型中, 得到辨识结果。该方法具有算法简单、自适应性和实时性强、辨识准确率高的特点, 能对煤矿微震信号和爆破信号进行有效的分类。

CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

一种基于深度学习的微震信号分类辨识方法

技术领域

本发明属于信号分析及识别领域，具体涉及一种基于深度学习的微震信号分类辨识方法。

背景技术

煤矿微震监测系统采集到的信号中除了大量有效的煤岩破裂微震信号，还包含了煤矿爆破作业产生的大量爆破震动信号，煤岩破裂微震信号波形与爆破震动信号波形又极为相似，需将煤岩破裂微震信号从海量监测数据中识别出来，采用人工识别方式，识别难度大，工作效率低。

目前，国内外对煤矿微震信号和爆破信号的识别方法主要包括傅里叶变换、小波变换、小波包变换和经验模态分解(Empirical Mode Decomposition, EMD)等。如传统的傅里叶变换主要用于分析周期性平稳信号，对包含有尖峰和突变的随机性、非平稳性微震信号分析效果欠佳；EMD 方法存在边界效应及模态混叠现象，导致 EMD 分解信号具有不稳定性 and 不唯一性，EMD 的这些缺陷使得在信号辨识时难免存在弊端。这些方法用于信号分析时均存在一定程度的解决了两类震动信号的辨识问题，但忽略了当前煤矿监测大数据环境和深度学习等新一代信息化技术在信号分类辨识技术中的应用，影响了信号分类辨识精度的进一步提高。

发明内容

本发明的目的在于提供一种基于深度学习的微震信号分类辨识方法，从煤岩破裂微震信号和爆破震动信号中提取辨识敏感特征，应用深度学习技术，构建基于深度神经网络的两类震动信号分类辨识模型，利用分类器对测试集数据进行识别。

为了实现上述目的，本发明采用了如下技术方案：

一种基于深度学习的微震信号分类辨识方法，依次包括如下步骤：

步骤 1：分别选取 M 个煤岩破裂微震信号和 N 个爆破震动信号构成两类震动信号的样本数据集；

步骤 2：提取 M 个煤岩破裂微震信号和 N 个爆破震动信号的主频 F_m 、峰后衰减系数 b 、能量重心系数 C_x 构成样本特征数据训练集和测试集；

步骤 3：基于四层深度神经网络构建煤岩破裂微震信号与爆破震动信号的分类辨识模型，用训练集数据训练该信号分类模型，利用测试集数据验证信号分类模型的分类辨识效果，通过交叉训练不断提升分类精度；

步骤 4：提取待辨识信号的特征向量，输入所述的分类辨识模型中，得到辨识结果。

进一步的，步骤 2 中，提取所述的 M 个煤岩破裂微震信号和 N 个爆破震动信号的主频

F_m 的具体步骤为:

假设煤岩破裂微震信号或爆破震动信号为 $x(t)$, $t = 1, 2, \dots, T$;

步骤 2.1.1: 根据式 (1) 计算得到信号的频谱;

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

式 (1) 中, $X(\omega)$ 为信号 $x(t)$ 的频谱, $j^2 = -1$;

步骤 2.1.2: 根据式 (2) 计算信号的主频;

$$F_m = \max(X(\omega)) \quad (2)。$$

进一步的, 步骤 2 中, 提取所述的 M 个煤岩破裂微震信号和 N 个爆破震动信号的峰后衰减系数 b 的具体步骤为: 假设煤岩破裂微震信号或爆破震动信号为 $x(t)$, $t = 1, 2, \dots, T$;

采用长短时窗法(STA/LTA)自动拾取信号的终止时刻点, 其中:

$$STA(i) = \frac{1}{sn} \sum_{j=i-sn}^i CF(j) \quad (3)$$

$$LTA(i) = \frac{1}{ln} \sum_{j=i-ln}^i CF(j) \quad (4)$$

$$\frac{STA}{LTA}(i) = \frac{STA(i)}{LTA(i)} \geq \lambda \quad (5)$$

$$CF(j) = x(j)^2 - x(j-1) \cdot x(j+1) \quad (6)$$

上述式(3)-式(6)中: i 为第 i 个采样点, sn 为短时窗长度, ln 为长时窗长度, λ 为 STA/LTA 的触发阈值, $CF(j)$ 为 j 时刻的关于信息的特征函数值;

求解信号峰后衰减系数 b 的具体步骤如下:

步骤 2.2.1: 利用长短时窗法拾取信号的终止时刻点;

步骤 2.2.2: 利用三次样条插值法求取信号的包络线;

步骤 2.2.3: 利用式 (7) 对包络线进行拟合;

$$x = at^b \quad (7)$$

式 (7) 中: x 为信号振幅, t 为采样点, a 、 b 为拟合参数; 参数 a 与信号峰相关, 参数 b 与信号衰减速率相关, 通常 b 值越大, 信号的衰减速率越快, 反之亦然; 因此将参数 b 定义为信号的衰减系数。

进一步的, 步骤 2 中, 提取所述的 M 个煤岩破裂微震信号和 N 个爆破震动信号的能量重心系数 C_x 的具体步骤为: 假设煤岩破裂微震信号或爆破震动信号为 $x(t)$, $t = 1, 2, \dots, T$;

步骤 2.3.1: 对信号 $x(t)$, $t = 1, 2, \dots, T$ 进行 VMD 分解, 得到的 K 个变分模态分量, 记为 $\{U_1, \dots, U_k, \dots, U_K\}$;

步骤 2.3.2: 根据式 (8) 计算各分量 U_k 对应的能量为 E_k , 即

$$E_k = \int |A_k(t)|^2 dt = \sum_{i=1}^T |x_{ki}|^2 \quad (8)$$

式 (8) 中, $x_{ki}(k=1, 2, \dots, K; i=1, 2, \dots, T)$ 为第 k 个变分模态分量 U_k 的离散点幅值, T 为信号的采样点个数, K 为变分模态个数;

步骤 2.3.3: 根据式 (9) 计算各模态分量能量占原始信号总能量的百分比为:

$$P(k) = \frac{E_k}{\sum_{k=1}^K E_k} \quad (9)$$

得到能量分布特征向量 $P = (P(1), \dots, P(k), \dots, P(K))$, 并构造能量分布平面;

步骤 2.3.4: 根据式 (10) 计算能量分布 X 轴能量重心系数 $C_x(0 < C_x \leq 1)$:

$$C_x = \frac{\sum_{i=1}^K (i \cdot P(i))}{K} \cdot \sum_{i=1}^K P(i) \quad (10)。$$

进一步的, 在步骤 3 中, 所述的四层的深度神经网络中包括输入层、输出层和两层隐含层, 两层隐含层分别包含 10 个隐含神经元。

本发明原理如下:

为实现煤岩破裂微震信号和爆破震动信号的有效分类辨识, 本发明应用深度学习技术, 以两种震动信号的三个敏感辨识特征为辨识特征向量, 构建基于深度神经网络的分类辨识模型。首先从历史监测数据中选择 M 个起跳明显的煤岩破裂微震信号和 N 个典型爆破震动信号构成样本数据集; 分别对 M 个微震信号和 N 个爆破信号提取主频 F_m 、峰后衰减系数 b 、能量重心系数 C_x 构成样本特征数据训练集和测试集; 基于四层深度神经网络构建分类辨识模型, 利用训练集数据训练信号分类模型, 利用训练好的信号分类模型, 对测试集数据进行识别, 通过交叉训练法不断提升分类精度; 提取待辨识信号的特征向量, 输入信号模型中, 得到辨识结果。该方法可以实现对煤岩破裂微震信号和爆破震动信号的有效辨识。

与现有技术相比, 本发明带来了以下有益技术效果:

本发明基于当前煤矿监测大数据环境, 根据煤岩破裂微震信号和爆破震动信号的自身特性与特点, 通过提取两类震动信号的辨识敏感特征, 采用深度学习技术建立深度神经网络模型, 训练深度神经网络分类器, 实现对两类震动信号的准确、有效辨识。该方法具有算法简单、自适应性和实时性强、辨识准确率高的特点, 能对煤矿煤岩破裂微震信号和爆破震动信号进行有效的分类, 具有很好的技术价值和应用前景。

附图说明

下面结合附图对本发明做进一步说明:

图 1 为本发明一种基于深度学习的微震信号分类辨识方法的流程图;

图 2 为待辨识信号 $x(t)$ 的示意图;

图 3 为提取待辨识信号 $x(t)$ 的主频特征示意图；

图 4 为提取待辨识信号 $x(t)$ 的峰后衰减系数特征示意图；

图 5 为提取待辨识信号 $x(t)$ 的能量重心系数特征示意图；

图 6 为本发明信号分类辨识模型的四层深度神经网络结构示意图。

具体实施方式

本发明提出了一种基于深度学习的微震信号分类辨识方法，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。

一种基于深度学习的微震信号分类辨识方法，其流程如图 1 所示，具体包括如下步骤：

步骤 1：分别选取 M 个煤岩破裂微震信号和 N 个爆破震动信号构成两类震动信号的样本数据集；

步骤 2：提取 M 个煤岩破裂微震信号和 N 个爆破震动信号的主频 F_m 、峰后衰减系数 b 、能量重心系数 C_x 构成样本特征数据训练集和测试集；

进一步的，步骤 2 中，提取所述的 M 个煤岩破裂微震信号和 N 个爆破震动信号的主频 F_m 的具体步骤为：

假设煤岩破裂微震信号或爆破震动信号为 $x(t)$ ， $t = 1, 2, \dots, T$ ；

步骤 2.1.1：根据式 (1) 计算得到信号的连续频谱；

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

式 (1) 中， $X(\omega)$ 为信号 $x(t)$ 的频谱， $j^2 = -1$ ；

步骤 2.2.2：根据式 (2) 计算信号的主频：

$$F_m = \max(X(\omega)) \quad (2)$$

进一步的，步骤 2 中，提取所述的 M 个煤岩破裂微震信号和 N 个爆破震动信号的峰后衰减系数 b 的具体步骤为：

假设煤岩破裂微震信号或爆破震动信号为 $x(t)$ ， $t = 1, 2, \dots, T$ ；

采用长短时窗法(STA/LTA)自动拾取信号的终止时刻点。其中：

$$STA(i) = \frac{1}{sn} \sum_{j=i-sn}^i CF(j) \quad (3)$$

$$LTA(i) = \frac{1}{ln} \sum_{j=i-ln}^i CF(j) \quad (4)$$

$$\frac{STA}{LTA}(i) = \frac{STA(i)}{LTA(i)} \geq \lambda \quad (5)$$

$$CF(j) = x(j)^2 - x(j-1) \cdot x(j+1) \quad (6)$$

其中， i 为第 i 个采样点， sn 为短时窗长度， ln 为长时窗长度， λ 为 STA/LTA 的触发阈值，

$CF(j)$ 为 j 时刻的关于信息的特征函数值。

求解信号峰后衰减系数的具体步骤如下：

步骤 2.2.1：利用长短时窗法拾取信号的终止时刻点；

步骤 2.2.2：利用三条样条插值法求取两种信号的包络线；

步骤 2.2.3：利用式（7）对包络线进行拟合；

$$x = at^b \quad (7)$$

其中， x 为信号振幅， t 为采样点， a 、 b 为拟合参数。参数 a 与信号峰值相关，参数 b 与信号衰减速率相关，通常 b 值越大，信号的衰减速率越快，反之亦然。因此将参数 b 定义为信号的衰减系数。

进一步的，步骤 2 中，提取所述的 M 个煤岩破裂微震信号和 N 个爆破震动信号的能量重心系数 C_x 的具体步骤为：

假设煤岩破裂微震信号或爆破震动信号为 $x(t)$ ， $t = 1, 2, \dots, T$ ；

步骤 2.3.1：对信号 $x(t)$ ， $t = 1, 2, \dots, T$ 进行 VMD 分解，得到的 K 个变分模态分量，记为 $\{U_1, \dots, U_k, \dots, U_K\}$ ；

步骤 2.3.2：根据式（8）计算各分量 U_k 对应的能量为 E_k ，即

$$E_k = \int |A_k(t)|^2 dt = \sum_{i=1}^T |x_{ki}|^2 \quad (8)$$

式中， $x_{ki}(k=1, 2, \dots, K ; i=1, 2, \dots, T)$ 为第 k 个变分模态分量 U_k 的离散点幅值， T 为信号的采样点个数， K 为变分模态个数。

步骤 2.3.3：根据式（9）计算各模态分量能量占原始信号总能量的百分比为：

$$P(k) = \frac{E_k}{\sum_{k=1}^K E_k} \quad (9)$$

得到能量分布特征向量 $P = (P(1), \dots, P(k), \dots, P(K))$ ，并构造能量分布平面；

步骤 2.3.4：根据公式（10）计算能量分布 X 轴重心系数 $C_x(0 < C_x \leq 1)$ ：

$$C_x = \frac{\sum_{i=1}^K (i \cdot P(i))}{K} \cdot \sum_{i=1}^K P(i) \quad (10)$$

步骤 3：基于四层深度神经网络构建煤岩破裂微震信号与爆破震动信号的分类辨识模型，用训练集数据训练该信号分类模型，利用测试集数据验证信号分类模型的分类辨识效果，通过交叉训练不断提升分类精度；

步骤 4：提取待辨识信号的特征向量，输入信号分类模型中，得到辨识结果。

如图 2 所示，从监测数据中获取以时间(s)为横轴，振幅为纵轴，采样频率 $f_s=1000\text{Hz}$ 的待辨识信号 $x(t)$ ， $t=1, 2, \dots, 4000$ ，微震信号采样点数据见表 1。

表1 待辨识信号采样点数据（可以存储于Excel表中）

序号	采样点(N)	振幅
$1*1/f_s$	1	-2.097e-06
$2*1/f_s$	2	-8.842e-06
$3*1/f_s$	3	-9.590e-06
$4*1/f_s$	4	3.960e-06
$5*1/f_s$	5	6.416e-06
...	...	...
$3999*1/f_s$	3999	2.920e-05
$4000*1/f_s$	4000	2.804e-05

按照步骤 2 中的提取主频的步骤提取待辨识信号 $x(t)$, $t = 1, 2, \dots, 4000$ 主频 F_m 的结果为 $F_m=24.5$, 如图 3 所示。

按照步骤 2 中的提取峰后衰减系数的步骤提取待辨识信号 $x(t)$, $t = 1, 2, \dots, 4000$ 峰后衰减系数 b , 取微震信号的短时窗 $sn=10$, 长时窗 $ln=180$, 触发阈值 $\lambda=7$ 。用三次样条插值法对信号求取包络线, 并对包络线进行拟合。拟合精度用校正相关系数 Adj.R-Square 表示, 该系数越接近 1, 说明拟合精度越高, 信号衰减过程越平稳。得到的峰后衰减系数 $b=6.238$, 结果如图 4 所示, 相关值如表 2 所示。

表 2 峰后衰减系数 b 的相关值

Equation	Adj.R-Square	a	b	峰后衰减系数 b
$x = a \times t^b$	0.9696	1.231e+17	-6.238	6.24

按照步骤 2 中的提取能量重心系数 C_x 的步骤提取待检测信号 $x(t)$, $t = 1, 2, \dots, 4000$ 的能量重心系数 C_x , 对信号 $x(t)$ 进行 VMD 分解, 取 $K=6$, 计算分解各模态分量能量占原始信号总能量的百分比如表 3 所示。

表3 待辨识信号各模态分量能量占原始信号总能量的百分比(%)

$P(1)$	$P(2)$	$P(3)$	$P(4)$	$P(5)$	$P(6)$
0.4495	1.8778	1.1972	69.4277	16.6905	10.3571

得到的微震信号的能量分布特征向量 P , 即 $P=(0.4495, 1.8778, 1.1972, 69.4277, 16.6905, 10.3571)$ 。并按照步骤 2 中公式 (10) 计算能量中心系数 $C_x = 0.7185$, 如图 5 所示, 图 6 为本发明信号辨识模型的四层深度神经网络结构示意图。

按照步骤 4, 将待辨识信号的特征向量值(24.5, 6.238, 0.7185)输入由步骤 3 训练好的信号分类辨识模型中, 得到辨识结果为该辨识信号是煤岩破裂微震信号。

为进一步验证本发明中的信号分类辨识模型的分类精度, 从测试集中分别选择 15 个煤岩破裂微震信号和 15 个爆破震动信号, 其特征数据如表 4 所示。

表 4 15 个微震信号和 15 个爆破信号的样本数据测试集

微震信号				爆破信号			
序号	F_m	b	C_x	序号	F_m	b	C_x
1	25.4	4.19	0.7111	1	232.3	24.12	0.4478
2	24.8	8.3	0.8586	2	490.2	10.6	0.4584
3	24.8	5.63	0.8982	3	136.2	20.5	0.4082
4	25.4	7.98	0.7021	4	279.8	15.6	0.436
5	24.6	6.18	0.8434	5	242.8	14.6	0.5641
6	25.2	4.24	0.7191	6	242.2	9.6	0.4557
7	151.5	8.52	0.6858	7	237.8	14	0.607
8	24.8	5.39	0.8276	8	237.6	8.7	0.49
9	24.5	6.24	0.7185	9	241.6	12.36	0.3992
10	25	7.12	0.717	10	239.4	15.98	0.3996
11	24.6	5.63	0.7185	11	81	6.2	0.6009
12	67.4	6.58	0.7166	12	174.6	20.88	0.459
13	60.3	9.62	0.8992	13	181.7	13.44	0.3593
14	58.7	7.17	0.7585	14	335.5	12.29	0.5216
15	39.3	5.51	0.7111	15	155.4	21.68	0.6352

利用上述测试集数据验证模型的分类辨识效果，其测试结果如表 5 所示。

表 5 15 个微震信号和 15 个爆破信号的测试结果

信号类型	序号	标签	辨识结果	信号类型	序号	标签	辨识结果
煤岩破裂微震信号	1	0	0	爆破震动信号	1	1	1
煤岩破裂微震信号	2	0	0	爆破震动信号	2	1	1
煤岩破裂微震信号	3	0	0	爆破震动信号	3	1	1
煤岩破裂微震信号	4	0	0	爆破震动信号	4	1	1
煤岩破裂微震信号	5	0	0	爆破震动信号	5	1	1
煤岩破裂微震信号	6	0	0	爆破震动信号	6	1	1
煤岩破裂微震信号	7	0	0	爆破震动信号	7	1	1
煤岩破裂微震信号	8	0	0	爆破震动信号	8	1	1
煤岩破裂微震信号	9	0	0	爆破震动信号	9	1	1
煤岩破裂微震信号	10	0	0	爆破震动信号	10	1	1
煤岩破裂微震信号	11	0	0	爆破震动信号	11	1	0
煤岩破裂微震信号	12	0	0	爆破震动信号	12	1	1
煤岩破裂微震信号	13	0	0	爆破震动信号	13	1	1
煤岩破裂微震信号	14	0	0	爆破震动信号	14	1	1
煤岩破裂微震信号	15	0	0	爆破震动信号	15	1	1

由表 5 可知，在该 30 个测试信号中，29 个信号的辨识结果正确，仅 1 组辨识错误，总的分类辨识准确率为 96.67%。

煤岩破裂微震信号和爆破震动信号虽然同为震动信号，但两类震动信号在主频、峰后衰

减系数及能量重心系数三个特征上差异显著，因此可根据这一特点，通过提取已明确类别的信号的特征向量，利用深度学习的技术建立信号分类器，将待辨识信号的特征向量输入分类器中，即可实现对待检测信号的分类辨识。

本发明中未述及的部分借鉴现有技术即可实现。

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。

权 利 要 求 书

1、一种基于深度学习的微震信号分类辨识方法，其特征在于，依次包括如下步骤：

步骤 1：分别选取 M 个煤岩破裂微震信号和 N 个爆破震动信号构成两类震动信号的样本数据集；

步骤 2：提取 M 个煤岩破裂微震信号和 N 个爆破震动信号的主频 F_m 、峰后衰减系数 b 、能量重心系数 C_x 构成样本特征数据训练集和测试集；

步骤 3：基于四层深度神经网络构建煤岩破裂微震信号与爆破震动信号的分类辨识模型，用训练集数据训练该信号分类模型，利用测试集数据验证信号分类模型的分类辨识效果，通过交叉训练不断提升分类精度；

步骤 4：提取待辨识信号的特征向量，输入所述的分类辨识模型中，得到辨识结果。

2、根据权利要求 1 所述的一种基于深度学习的微震信号分类辨识方法，其特征在于：步骤 2 中，提取所述的 M 个煤岩破裂微震信号和 N 个爆破震动信号的主频 F_m 的具体步骤为：假设煤岩破裂微震信号或爆破震动信号为 $x(t)$ ， $t = 1, 2, \dots, T$ ；

步骤 2.1.1：根据式 (1) 计算得到信号的频谱；

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

式 (1) 中， $X(\omega)$ 为信号 $x(t)$ 的频谱， $j^2 = -1$ ；

步骤 2.1.2：根据式 (2) 计算信号的主频；

$$F_m = \max(X(\omega)) \quad (2)。$$

3、根据权利要求 2 所述的一种基于深度学习的微震信号分类辨识方法，其特征在于：步骤 2 中，提取所述的 M 个煤岩破裂微震信号和 N 个爆破震动信号的峰后衰减系数 b 的具体步骤为：假设煤岩破裂微震信号或爆破震动信号为 $x(t)$ ， $t = 1, 2, \dots, T$ ；

采用长短时窗法(STA/LTA)自动拾取信号的终止时刻点，其中：

$$STA(i) = \frac{1}{sn} \sum_{j=i-sn}^i CF(j) \quad (3)$$

$$LTA(i) = \frac{1}{ln} \sum_{j=i-ln}^i CF(j) \quad (4)$$

$$\frac{STA}{LTA}(i) = \frac{STA(i)}{LTA(i)} \geq \lambda \quad (5)$$

$$CF(j) = x(j)^2 - x(j-1) \cdot x(j+1) \quad (6)$$

上述式(3)-式(6)中： i 为第 i 个采样点， sn 为短时窗长度， ln 为长时窗长度， λ 为 STA/LTA 的触发阈值， $CF(j)$ 为 j 时刻的关于信息的特征函数值；

求解信号峰后衰减系数 b 的具体步骤如下：

步骤 2.2.1：利用长短时窗法拾取信号的终止时刻点；

步骤 2.2.2: 利用三次样条插值法求取信号的包络线;

步骤 2.2.3: 利用式 (7) 对包络线进行拟合;

$$x = at^b \quad (7)$$

式 (7) 中: x 为信号振幅, t 为采样点, a 、 b 为拟合参数; 参数 a 与信号峰相关, 参数 b 与信号衰减速率相关, 通常 b 值越大, 信号的衰减速率越快, 反之亦然; 因此将参数 b 定义为信号的衰减系数。

4、根据权利要求 3 所述的一种基于深度学习的微震信号分类辨识方法, 其特征在于: 步骤 2 中, 提取所述的 M 个煤岩破裂微震信号和 N 个爆破震动信号的能量重心系数 C_x 的具体步骤为: 假设煤岩破裂微震信号或爆破震动信号为 $x(t)$, $t = 1, 2, \dots, T$;

步骤 2.3.1: 对信号 $x(t)$, $t = 1, 2, \dots, T$ 进行 VMD 分解, 得到的 K 个变分模态分量, 记为 $\{U_1, \dots, U_k, \dots, U_K\}$;

步骤 2.3.2: 根据式 (8) 计算各分量 U_k 对应的能量为 E_k , 即

$$E_k = \int |A_k(t)|^2 dt = \sum_{i=1}^T |x_{ki}|^2 \quad (8)$$

式 (8) 中, $x_{ki}(k=1, 2, \dots, K; i=1, 2, \dots, T)$ 为第 k 个变分模态分量 U_k 的离散点幅值, T 为信号的采样点个数, K 为变分模态个数;

步骤 2.3.3: 根据式 (9) 计算各模态分量能量占原始信号总能量的百分比为;

$$P(k) = \frac{E_k}{\sum_{k=1}^K E_k} \quad (9)$$

得到能量分布特征向量 $P = (P(1), \dots, P(k), \dots, P(K))$, 并构造能量分布平面;

步骤 2.3.4: 根据式 (10) 计算能量分布 X 轴能量重心系数 $C_x(0 < C_x \leq 1)$:

$$C_x = \frac{\sum_{i=1}^K (i \cdot P(i))}{K} \cdot \sum_{i=1}^K P(i) \quad (10)。$$

5、根据权利要求 1 所述的一种基于深度学习的微震信号分类辨识方法, 其特征在于, 在步骤 3 中, 所述的四层的深度神经网络中包括输入层、输出层和两层隐含层, 两层隐含层分别包含 10 个隐含神经元。

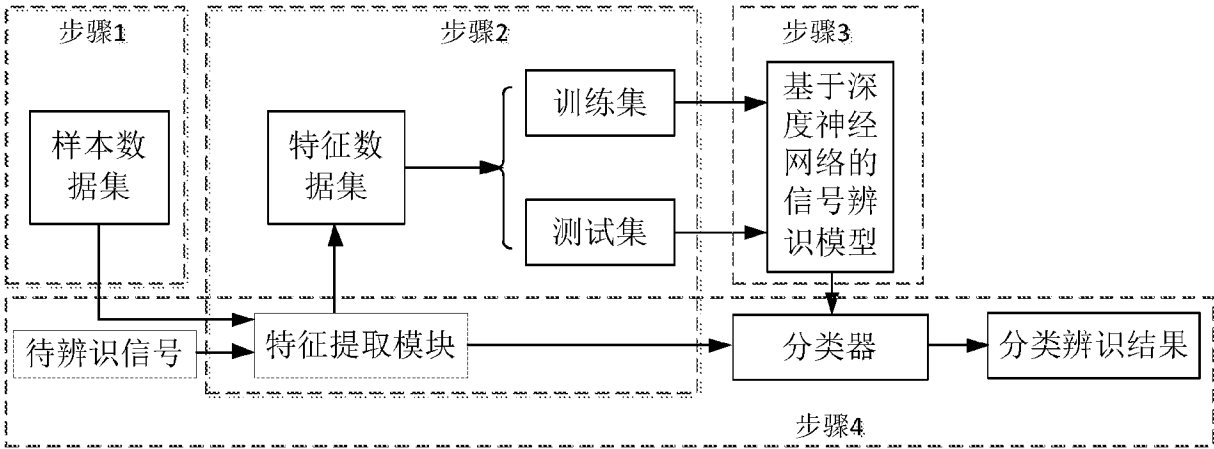


图 1

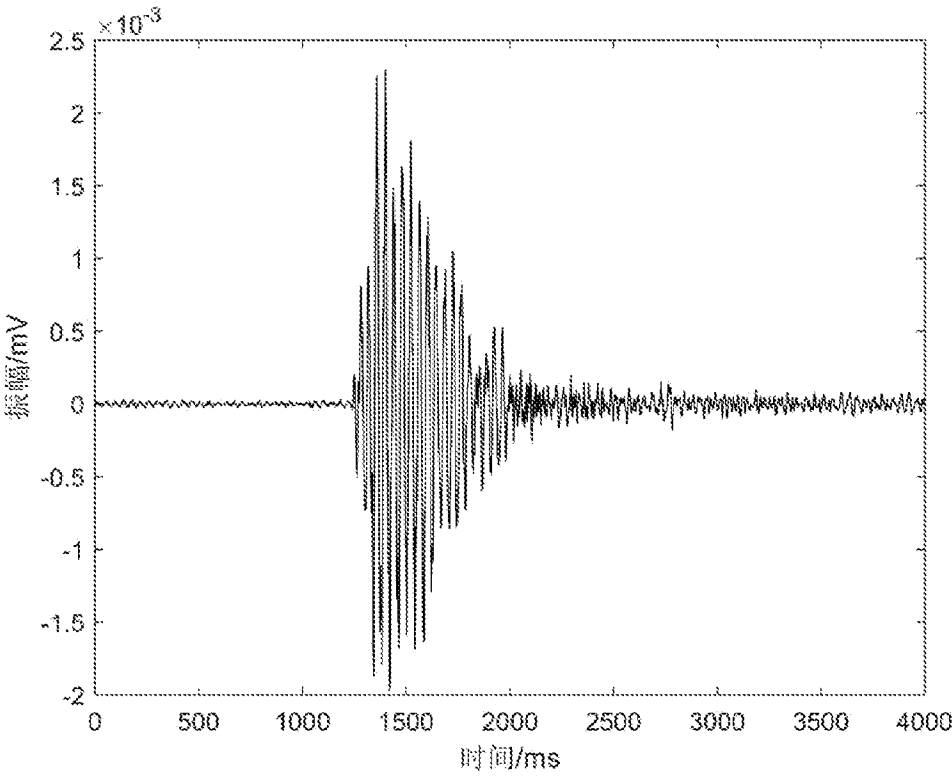


图 2

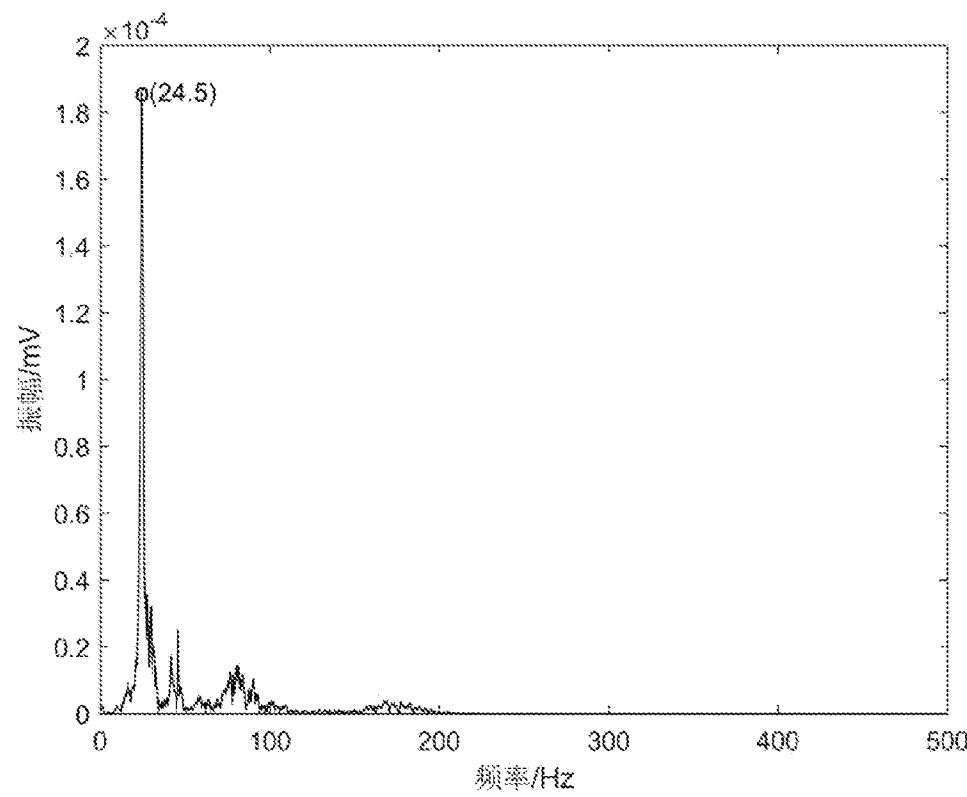


图 3

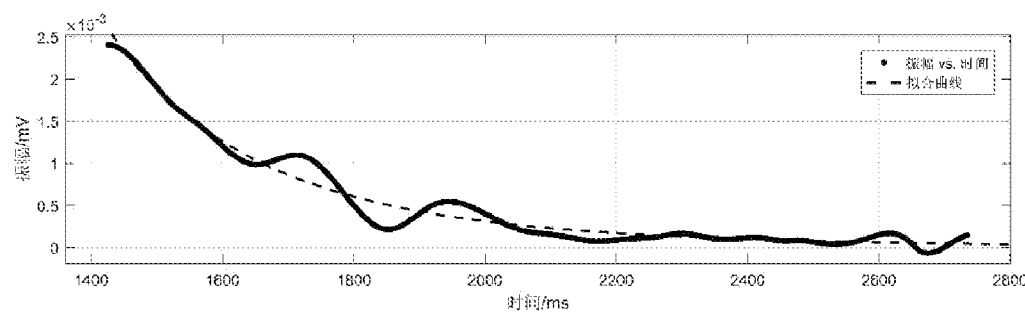


图 4

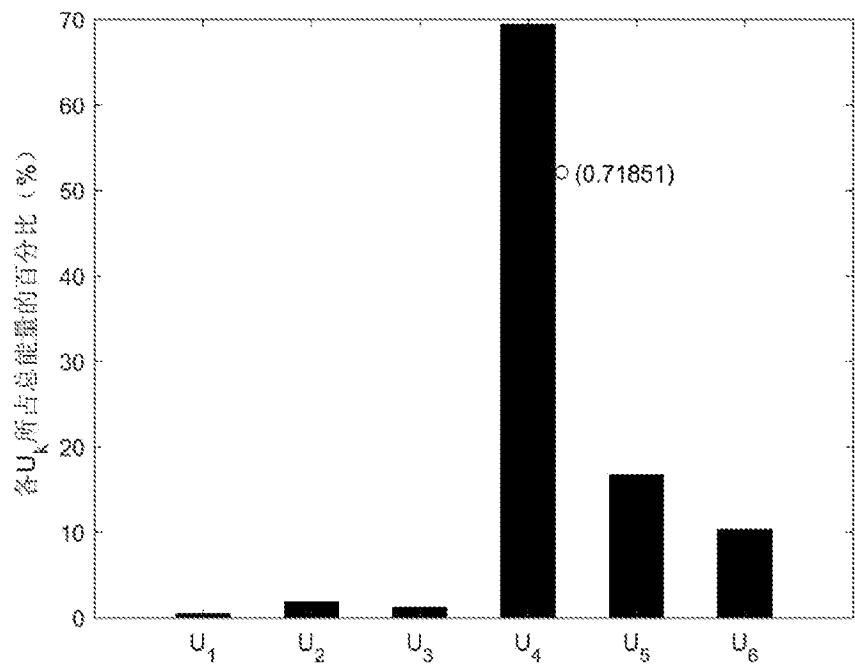


图 5

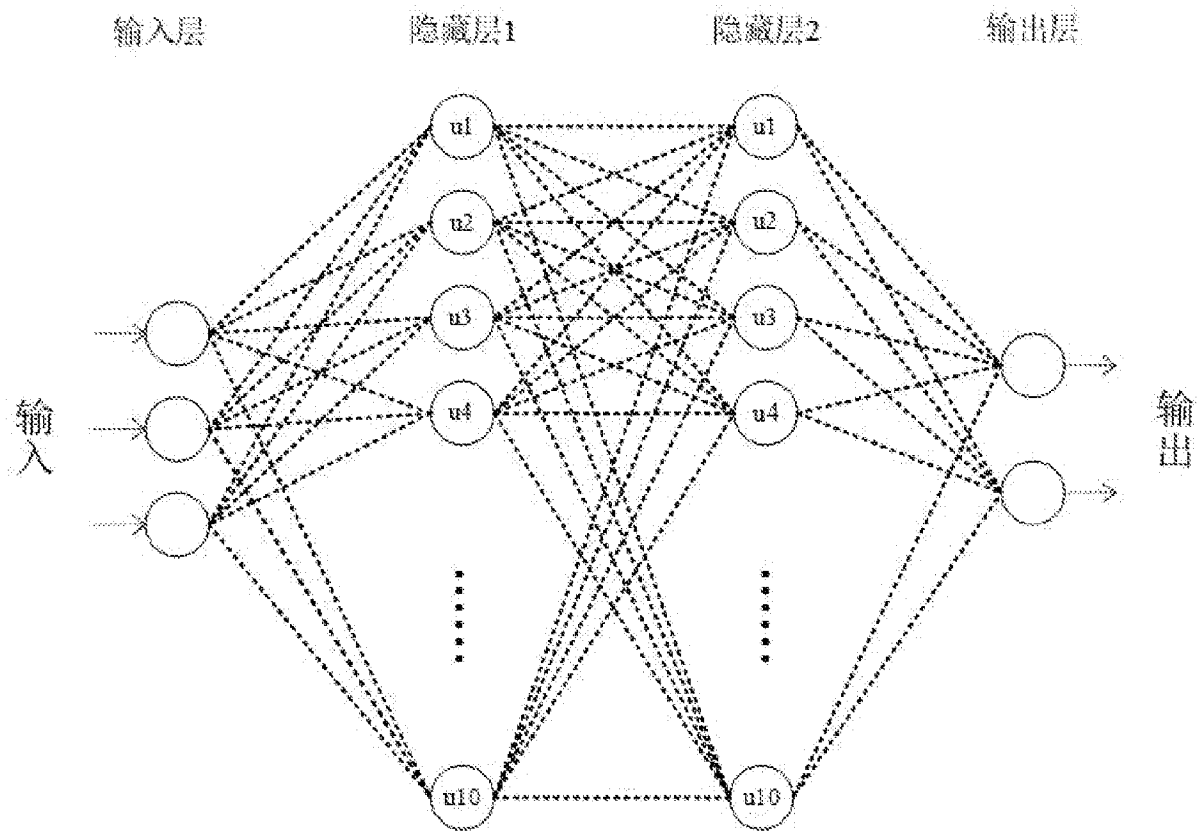


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/088270

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01V 1/28(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01V

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

VEN; CNABS, CNTXT, CNKI: 深度, 学习, 识别, 辨识, 微震, 微振, 振动, 震动, 岩, 主频, 衰减系数, 能量, 神经网络, VMD, identif+, vibrat+, microseismic, rock?, mode?, neural network

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
T	CN 110133714 A (SHANDONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 16 August 2019 (2019-08-16) entire document	1-5
Y	Zhang, Xingli et al. "Identifi Cation of Blasting Vibration and Coal-Rock Fracturing Microseismic Signals" <i>Applied Geophysics</i> , Vol. 15, No. (2), 30 June 2018 (2018-06-30), pages 280-289	1-5
Y	CN 106405640 A (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY, BEIJING) 15 February 2017 (2017-02-15) description, paragraphs 2-42, and figures 1-2	1-5
A	CN 106407649 A (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY, BEIJING) 15 February 2017 (2017-02-15) entire document	1-5
A	CN 106646587 A (BEIJING PERCEPTION TECHNOLOGY CO., LTD.) 10 May 2017 (2017-05-10) entire document	1-5



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 January 2020

Date of mailing of the international search report

06 February 2020

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/088270**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 109613610 A (CENTRAL SOUTH UNIVERSITY) 12 April 2019 (2019-04-12) entire document	1-5
A	WO 2013089764 A1 (HALLIBURTON ENERGY SERV INC. et al.) 20 June 2013 (2013-06-20) entire document	1-5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/088270

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	110133714	A	16 August 2019	None			
CN	106405640	A	15 February 2017	CN	106405640	B	10 July 2018
CN	106407649	A	15 February 2017	CN	106407649	B	29 January 2019
CN	106646587	A	10 May 2017	CN	106646587	B	21 August 2018
CN	109613610	A	12 April 2019	None			
WO	2013089764	A1	20 June 2013	MX	2014007127	A	14 April 2015
				AU	2011383266	A1	03 July 2014
				US	2014309959	A1	16 October 2014
				AU	2011383266	B2	30 April 2015
				EP	2791671	A1	22 October 2014
				MX	340339	B	05 July 2016
				BR	112014014758	A2	13 June 2017
				CA	2858591	A1	20 June 2013
				US	10082600	B2	25 September 2018

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/088270

A. 主题的分类 G01V 1/28(2006.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类																										
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) G01V 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) VEN;CNABS, CNTXT, CNKI:深度, 学习, 识别, 辨识, 微震, 微振, 振动, 震动, 岩, 主频, 衰减系数, 能量, 神经网络, VMD, identif+, vibrat+, microseismic, rock?, mode?, neural network																										
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T</td> <td>CN 110133714 A (山东科技大学) 2019年 8月 16日 (2019 - 08 - 16) 全文</td> <td>1-5</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>Zhang-Xing-Li 等. "《Identification of blasting vibration and coal-rock fracturing microseismic signals》" 《APPLIED GEOPHYSICS》, 第15卷, 第2期, 2018年 6月 30日 (2018 - 06 - 30), 第280-289页</td> <td>1-5</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 106405640 A (中国矿业大学北京) 2017年 2月 15日 (2017 - 02 - 15) 说明书第2-42段及附图1-2</td> <td>1-5</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106407649 A (中国矿业大学北京) 2017年 2月 15日 (2017 - 02 - 15) 全文</td> <td>1-5</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106646587 A (北京知觉科技有限公司) 2017年 5月 10日 (2017 - 05 - 10) 全文</td> <td>1-5</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 109613610 A (中南大学) 2019年 4月 12日 (2019 - 04 - 12) 全文</td> <td>1-5</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2013089764 A1 (HALLIBURTON ENERGY SERV INC等) 2013年 6月 20日 (2013 - 06 - 20) 全文</td> <td>1-5</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	T	CN 110133714 A (山东科技大学) 2019年 8月 16日 (2019 - 08 - 16) 全文	1-5	Y	Zhang-Xing-Li 等. "《Identification of blasting vibration and coal-rock fracturing microseismic signals》" 《APPLIED GEOPHYSICS》, 第15卷, 第2期, 2018年 6月 30日 (2018 - 06 - 30), 第280-289页	1-5	Y	CN 106405640 A (中国矿业大学北京) 2017年 2月 15日 (2017 - 02 - 15) 说明书第2-42段及附图1-2	1-5	A	CN 106407649 A (中国矿业大学北京) 2017年 2月 15日 (2017 - 02 - 15) 全文	1-5	A	CN 106646587 A (北京知觉科技有限公司) 2017年 5月 10日 (2017 - 05 - 10) 全文	1-5	A	CN 109613610 A (中南大学) 2019年 4月 12日 (2019 - 04 - 12) 全文	1-5	A	WO 2013089764 A1 (HALLIBURTON ENERGY SERV INC等) 2013年 6月 20日 (2013 - 06 - 20) 全文	1-5
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																								
T	CN 110133714 A (山东科技大学) 2019年 8月 16日 (2019 - 08 - 16) 全文	1-5																								
Y	Zhang-Xing-Li 等. "《Identification of blasting vibration and coal-rock fracturing microseismic signals》" 《APPLIED GEOPHYSICS》, 第15卷, 第2期, 2018年 6月 30日 (2018 - 06 - 30), 第280-289页	1-5																								
Y	CN 106405640 A (中国矿业大学北京) 2017年 2月 15日 (2017 - 02 - 15) 说明书第2-42段及附图1-2	1-5																								
A	CN 106407649 A (中国矿业大学北京) 2017年 2月 15日 (2017 - 02 - 15) 全文	1-5																								
A	CN 106646587 A (北京知觉科技有限公司) 2017年 5月 10日 (2017 - 05 - 10) 全文	1-5																								
A	CN 109613610 A (中南大学) 2019年 4月 12日 (2019 - 04 - 12) 全文	1-5																								
A	WO 2013089764 A1 (HALLIBURTON ENERGY SERV INC等) 2013年 6月 20日 (2013 - 06 - 20) 全文	1-5																								
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																										
<table border="0"> <tr> <td> * 引用文件的具体类型: "A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 "E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 "L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) "O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 "P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 </td> <td> "T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 "X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 "Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 "&" 同族专利的文件 </td> </tr> </table>			* 引用文件的具体类型: "A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 "E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 "L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) "O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 "P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	"T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 "X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 "Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 "&" 同族专利的文件																						
* 引用文件的具体类型: "A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 "E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 "L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) "O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 "P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	"T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 "X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 "Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 "&" 同族专利的文件																									
国际检索实际完成的日期 2020年 1月 19日		国际检索报告邮寄日期 2020年 2月 6日																								
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		受权官员 张瑞 电话号码 86-(010)-62085652																								

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/088270

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	110133714	A	2019年 8月 16日	无	
CN	106405640	A	2017年 2月 15日	CN	106405640 B 2018年 7月 10日
CN	106407649	A	2017年 2月 15日	CN	106407649 B 2019年 1月 29日
CN	106646587	A	2017年 5月 10日	CN	106646587 B 2018年 8月 21日
CN	109613610	A	2019年 4月 12日	无	
WO	2013089764	A1	2013年 6月 20日	MX	2014007127 A 2015年 4月 14日
				AU	2011383266 A1 2014年 7月 3日
				US	2014309959 A1 2014年 10月 16日
				AU	2011383266 B2 2015年 4月 30日
				EP	2791671 A1 2014年 10月 22日
				MX	340339 B 2016年 7月 5日
				BR	112014014758 A2 2017年 6月 13日
				CA	2858591 A1 2013年 6月 20日
				US	10082600 B2 2018年 9月 25日