

(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

(43) 国际公布日
2021 年 12 月 16 日 (16.12.2021)



(10) 国际公布号
WO 2021/248962 A1

(51) 国际专利分类号:
G01N 27/85 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2021/081320

(22) 国际申请日: 2021 年 3 月 17 日 (17.03.2021)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202010529779.1 2020年6月11日 (11.06.2020) CN

(71) 申请人: 哈尔滨工业大学(深圳)(哈
尔滨工业大学深圳科技创新研究院)(**HA-
RBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY (SHENZHEN)
(INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY IN-
NOVATION)**) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南

山区桃源街道深圳大学城哈尔滨工业大
学校区, Guangdong 518000 (CN)。

(72) 发明人: 张东来(**ZHANG, Donglai**); 中国广东省深
圳市南山区桃源街道深圳大学城哈尔滨工业大
学校区, Guangdong 518000 (CN)。 张恩超(**ZHANG,
Enchao**); 中国广东省深圳市南山区桃源街道
深圳大学城哈尔滨工业大学校区, Guangdong
518000 (CN)。 高伟(**GAO, Wei**); 中国广东省深
圳市南山区桃源街道深圳大学城哈尔滨工业大
学校区, Guangdong 518000 (CN)。 晏小兰(**YAN,
Xiaolan**); 中国广东省深圳市南山区桃源街道
深圳大学城哈尔滨工业大学校区, Guangdong
518000 (CN)。 潘世旻(**PAN, Shimin**); 中国广东
省深圳市南山区桃源街道深圳大学城哈尔滨
工业大学校区, Guangdong 518000 (CN)。

(54) **Title:** NON-DESTRUCTIVE TESTING METHOD AND DEVICE FOR TESTING AND DISTINGUISHING INTERNAL AND EXTERNAL DEFECTS OF STEEL WIRE ROPE

(54) 发明名称: 一种检测及区分钢丝绳内外缺陷的无损检测方法和装置

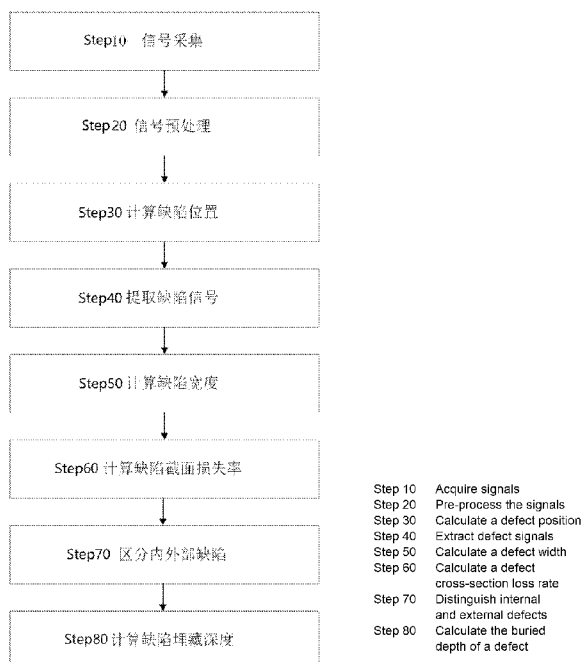


图 3

(57) **Abstract:** A non-destructive testing method and device for testing and distinguishing internal and external defects of a steel wire rope. Said method comprises the following steps: acquiring a magnetic flux signal and a magnetic flux leakage signal of a steel wire rope to be tested; pre-processing the magnetic flux signal and the magnetic flux leakage signal of said steel wire rope; respectively comparing the pre-processed magnetic flux signal and magnetic flux leakage signal with a preset magnetic flux signal threshold and a

(74) 代理人: 深圳市科吉华烽知识产权事务所 (普通合伙) (SZ KINDWALF INTELLECTUAL PROPERTY FIRM); 中国广东省深圳市南山区深南西路深南花园裙楼A区四层402室, Guangdong 518000 (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, 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, IT, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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))。

preset magnetic flux leakage signal threshold, so as to calculate a defect position; according to the defect position, extracting a defect magnetic flux signal and a defect magnetic flux leakage signal; according to the defect magnetic flux signal and the defect magnetic flux leakage signal, calculating a defect width flw of said steel wire rope; according to the defect width flw of said steel wire rope, calculating a defect cross-section loss amount fs of said steel wire rope; and performing calculating to distinguish whether a defect is an internal defect or an external defect. The present method can identify all defect types of a steel wire rope, can distinguish internal and external defects, and can also accurately and quantitatively test defects, and accurately calculate the buried depth of the defects.

(57) 摘要: 一种检测及区分钢丝绳内外缺陷的无损检测方法和装置, 该方法包括以下步骤: 采集被测钢丝绳的磁通信号和漏磁信号; 对被测钢丝绳的磁通信号和漏磁信号进行预处理; 根据预处理后的磁通信号、漏磁信号分别与预设磁通信号阈值、预设漏磁信号阈值进行对比, 计算缺陷位置; 根据缺陷位置, 提取缺陷磁通信号和缺陷漏磁信号; 根据缺陷磁通信号和缺陷漏磁信号, 计算被测钢丝绳的缺陷宽度flw; 根据被测钢丝绳的缺陷宽度flw, 计算被测钢丝绳的缺陷截面损失量fs; 计算并区分内外部缺陷。本方法不仅可以识别钢丝绳的所有类型缺陷, 而且可以区分内外部缺陷, 还可以对缺陷的进行精确定量检测, 准确计算缺陷的埋藏深度。

一种检测及区分钢丝绳内外缺陷的无损检测方法和装置

技术领域

本发明属于无损检测技术领域，尤其涉及一种检测及区分钢丝绳内外缺陷的无损检测方法和装置。

背景技术

钢丝绳作为一种挠性部件具有强劲的载重能力、突出的柔韧性和卓越的工作稳定性，在矿山、航运、建筑、运输等领域得到广泛应用。然而，钢丝绳在长期使用过程中，必然会产生磨损、断丝、锈蚀等疲劳损伤，随着使用周期的延长，损伤程度也趋于严重，如不能在整绳破断之前替换钢丝绳，将严重影响安全生产，甚至威胁设备及人身安全，造成巨大经济损失及不良的社会影响。钢丝绳的缺陷可以分为外部缺陷和内部缺陷。随着缺陷埋藏深度的增大，缺陷的检出将变得越来越困难。现有的检测方法无法定量检测内部缺陷，也无法区分内外部缺陷。

电磁检测法是现阶段最有效的方法，根据励磁条件可分为饱和励磁和非饱和励磁。非饱和励磁检测对传感器、环境和方式等都有较严格的要求，而且无法准确地进行定量检测，不能应用于实际检测。饱和励磁检测则可以避免以上缺点，提高定量检测的精度，更好地应用于实际检测。

饱和励磁检测主要有磁通检测和漏磁检测两种方法。磁通检测主要检测被测物体的磁通变化量，磁通包括主磁通、漏磁通和磁轭磁通等。此方法的优点是：其检测的磁通值与被测对象的截面损失面积相关；无论缺陷在外部还是内部，磁通无损检测都能检测；但是当缺陷的轴向宽度较小时，其检测能力非常低，无法定量检测，而且无法区分内部缺陷。现有的磁通检测方法无法定量检测所有缺陷，且无法计算缺陷埋藏深度。漏磁检测主要通过传感器阵列检测被测物体表面的漏磁场强度。漏磁检测对轴向宽度较小的缺陷有很高识别率，对缺陷宽度的检测也较为准确。但是对于轴向宽度较大的缺陷，无法准确识别缺陷的信息；缺陷埋藏深度严重影响检测精度，无法定量检测所有缺陷。

因此现有的检测方法无法对钢丝绳内外部缺陷进行区分，而且检测精度很低，无法计算缺陷埋藏深度。

发明内容

针对以上技术问题，本发明公开了一种检测及区分钢丝绳内外缺陷的无损检测方法和装置，可以对钢丝绳内外部缺陷进行区分，还可以计算得到缺陷埋藏深度，使得检测更加精准。

对此，本发明采用的技术方案为：

一种检测及区分钢丝绳内外缺陷的无损检测方法，其包括以下步骤：

步骤 S10，采集被测钢丝绳的磁通信号和漏磁信号；

步骤 S20，对被测钢丝绳的磁通信号和漏磁信号进行预处理；

步骤 S30，根据预处理后的磁通信号、漏磁信号分别与预设磁通信号阈值、预设漏磁信号阈值进行对比，计算缺陷位置；

步骤 S40，根据缺陷位置，提取缺陷磁通信号和缺陷漏磁信号；

步骤 S50，根据缺陷磁通信号和缺陷漏磁信号，计算被测钢丝绳的缺陷宽度 flw ；

步骤 S60，根据被测钢丝绳的缺陷宽度 flw ，计算被测钢丝绳的缺陷截面损失量 fs ；

步骤 S70，区分内外部缺陷：

采用公式 $FV = FH - FL$ 计算所述缺陷漏磁信号的波形峰峰值 FV ，其中， FH 为所述缺陷漏磁信号的波形峰值， FL 为所述缺陷漏磁信号的波形谷值；

设计关系函数 $ffs = f2(FV, flw)$ ，其中， $f2$ 为训练的多次方程组或者多层神经网络， ffs 为虚拟截面损失量；

将步骤 S50 中得到的缺陷宽度 flw 和所述缺陷漏磁信号的波形峰峰值 FV ，代入所述设计关系函数中，计算得到 ffs ；

对比 ffs 和 fs ，如果 $|fs - ffs| > \mu$ ，此缺陷为内部缺陷，否则为外部缺陷；

其中， μ 为预设的缺陷判定值。

进一步的， μ 可设置为一根断丝的截面损失率，或者根据实际情况设置。

进一步的，将被测钢丝绳励磁至饱和或近似饱和状态，然后采集被测钢丝绳的磁通信号和漏磁信号。

作为本发明的进一步改进，所述的检测及区分钢丝绳内外缺陷的无损检测方法还包括：

步骤 S80，计算缺陷埋藏深度：

根据 S70 结果，如果缺陷为外部缺陷，则缺陷的埋藏深度为 0，否则缺陷的埋藏深度不为 0，则进行以下步骤；

根据以下公式计算缺陷的埋藏深度 f_d ,

$$f_d = f_3(f_s, f_{fs}, f_{lw}),$$

其中, f_3 为训练的多次方程组或者多层神经网络, f_{lw} 为被测钢丝绳的缺陷宽度, f_s 为被测钢丝绳的缺陷截面损失量, f_{fs} 为虚拟截面损失量。

作为本发明的进一步改进, 步骤 S70 中, 训练的多次方程组或者多层神经网络 f_2 采用以下步骤得到:

Step721: 设计 x 个缺陷宽度, y 个缺陷截面损失量, 总共 $x \times y$ 个标准表面缺陷, x 和 y 均为自然数;

Step722: 对 $x \times y$ 个标准表面缺陷经过步骤 S10 至步骤 S60 的计算得到相应的缺陷漏磁波形峰峰值;

Step723: 将得到的缺陷漏磁波形峰峰值和标准表面缺陷的缺陷宽度作为输入自变量, f_{fs} 作为输出标准量, 训练得到多次方程组或者多层神经网络 f_2 。

作为本发明的进一步改进, 步骤 S80 中, 训练的多次方程组或者多层神经网络 f_3 采用以下步骤得到:

Step821: 设计 x 个缺陷宽度, y 个缺陷截面损失量, z 个不同埋藏深度, 总共 $x \times y \times z$ 个标准缺陷, x 、 y 和 z 均为自然数;

Step822: 对 $x \times y \times z$ 个标准缺陷经过步骤 S10 至步骤 S70 的计算得到相应的 f_{fs} ;

Step823: 将得到的 f_{fs} 、缺陷截面损失量和缺陷宽度作为输入自变量, 缺陷的埋藏深度作为输出标准量, 训练得到多次方程组或者多层神经网络 f_3 。

作为本发明的进一步改进, 步骤 S10 中包括, 通过磁通检测传感器获取被测钢丝绳的磁通信号, 通过磁场强度检测传感器获取所述被测钢丝绳的漏磁信号, 并采用以下步骤对获取的被测钢丝绳的磁通信号进行初步处理, 消除钢丝绳速度的影响;

对磁通信号采用如下公式通过积分器对时间的积分处理, 然后通过等空间采样采集数据,

$$\begin{cases} \bar{Y} = \int S dt \\ Y_i = \bar{Y}_m \quad (i=1, 2, \dots, N) \end{cases}, \text{ 其中 } Y_i \text{ 为初步处理后的被测钢丝绳的磁通信号, } S \text{ 为}$$

采集到的被测钢丝绳的磁通信号, dt 表示对时间的微分, N 为总采样点数;

或者采用以下公式对磁通信号通过积分器的对空间进行等距离积分处理采集;

$Y = \int S dl$ ，其中 Y 为初步处理后的被测钢丝绳的磁通信号， dl 表示对空间距离的微分， S 为采集到的被测钢丝绳的磁通信号。

作为本发明的进一步改进，步骤 S20 中对被测钢丝绳的磁通信号进行预处理包括对被测钢丝绳的磁通信号进行野点剔除、噪声滤波、基线消除等，能够提高磁通信号的信噪比，更利于信号的特征提取。

作为本发明的进一步改进，对所述被测钢丝绳的磁通信号进行野点剔除的步骤包括：

对所述被测钢丝绳的磁通信号 Y 进行野点剔除，设 $Y(i)$ 为第 i 个磁通采集信号，当 $Y(i)$ 远大于前后磁通信号值时， $Y(i)=[Y(i-1)+Y(i+1)]/2$ ($i=1, 2, \dots, N$)，野点剔除处理之后得到信号 $Y_1(i)$ ， N 为总采样点数。

作为本发明的进一步改进，对所述被测钢丝绳的磁通信号进行噪声滤波的步骤包括：

采用自适应滤波、或者小波变换、或者平滑滤波、或者经验模态分解对所述被测钢丝绳的磁通信号进行噪声滤波，其中，采用平滑滤波对所述被测钢丝绳的磁通信号进行噪声滤波的计算公式为：

$$Y_2(i) = \frac{\sum_{i=m}^{m+n} Y_1(i)}{n} \quad (m=1, 2, \dots, N-n),$$

其中，式中 n 为求均值的数据个数， N 为总采样点数。

作为本发明的进一步改进，对所述被测钢丝绳的磁通信号进行基线消除的步骤包括：

采用包络谱提取、或小波分解、或窗口平均、或经验模态分解对所述被测钢丝绳的磁通信号进行基线消除，其中，采用经验模态分解对所述被测钢丝绳的磁通信号进行基线消除的步骤包括：

找出信号数据序列 $Y_2(i)$ 的所有极大值点和极小值点，将其用三次样条函数分别拟合为原序列的上包络线和下包络线；上包络线和下包络线的均值为 m_1 ；将数据序列 $Y_2(i)$ 减去 m_1 得到一个减去低频的新序列 $Y_3(i)$ ，即 $Y_3(i)=Y_2(i)-m_1$ 。

作为本发明的进一步改进，步骤 S20 中，对被测钢丝绳的漏磁信号进行预处理包

括对被测钢丝绳的每路漏磁信号进行野点剔除、噪声滤波、基线消除、股波噪声滤除等，能够提高漏磁信号的信噪比，更利于信号的特征提取。

作为本发明的进一步改进，对所述被测钢丝绳的每路漏磁信号进行野点剔除的步骤包括：

对每路漏磁信号 X 进行野点剔除，设 X_{ij} 为第 i 个霍尔传感器的第 j 个采样值，当 X_{ij} 远大于前后漏磁信号值时：

$$X_{i,j} = \frac{X_{i,(j+1)} + X_{i,(j-1)}}{2}$$

野点剔除处理之后得到信号 X_{ij} 。

作为本发明的进一步改进，对所述被测钢丝绳的每路漏磁信号进行噪声滤波的步骤包括：

采用自适应滤波、或者小波变换、或者平滑滤波、或者经验模态分解对被测钢丝绳的每路漏磁信号进行噪声滤波；其中，采用平滑滤波对所述被测钢丝绳的每路漏磁信号进行噪声滤波的计算公式为：

$$\bar{X}_{i,j} = \frac{1}{n} \sum_{j=m}^{m+n} X_{i,j} \quad (i=1,2,\dots,k, m=1,2,\dots,N-n)$$

其中，式中 n 为求均值的数据个数， N 为总采样点数， k 为采集被测钢丝绳的漏磁信号的磁场强度检测传感器路数。

作为本发明的进一步改进，对所述被测钢丝绳的每路漏磁信号进行基线消除的步骤包括：

采用包络谱提取、或者小波分解、或者窗口平均、或者经验模态分解对所述被测钢丝绳的每路漏磁信号进行基线消除；其中，采用经验模态分解对所述被测钢丝绳的每路漏磁信号进行基线消除的步骤包括：

找出野点剔除处理后的漏磁信号数据序列 X_y 的所有极大值点和极小值点，将其用三次样条函数分别拟合为原序列的上包络线和下包络线，上包络线和下包络线的均值为 $m1$ ；将原数据序列减去 $n1$ 得到减去低频的新序列 $X1$ ，即 $X1 = X_y - n1$ 。

作为本发明的进一步改进，对所述被测钢丝绳的每路漏磁信号进行股波噪声滤除的步骤包括：

采用小波分解、或者经验模态分解、或者自适应滤波、或者梯度法对所述被测钢

丝绳的每路漏磁信号进行股波噪声滤除，其中，采用梯度法对所述被测钢丝绳的每路漏磁信号进行股波噪声滤除的步骤包括：

采用梯度法实现图像的一阶微分，对于图像 $X_1(x,y)$ ，其在坐标 (x,y) 处的梯度是二维列向量表示：

$$\nabla \mathbf{f} = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix},$$

这个向量的模是：

$$\nabla f = \text{mag}(\nabla \mathbf{f}) = [G_x^2 + G_y^2]^{\frac{1}{2}} = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}},$$

对多路漏磁信号进行求和处理，得到漏磁和信号 X_2 。

作为本发明的进一步改进，步骤 S30 中计算缺陷位置包括以下步骤：

步骤 S31，设置被测钢丝绳的缺陷磁通信号预设阈值 mp ， mp 为最小缺陷的磁通信号峰值；

步骤 S32，将被测钢丝绳的磁通信号与缺陷磁通信号预设阈值 mp 比较，记录多组连续的磁通信号大于缺陷磁通信号预设阈值 mp 的磁通采样点，多组磁通采集点的轴向坐标为 $[c11, c12 \cdots c1a]$ ， $[c21, c22 \cdots c2b]$ ，……；

步骤 S33，计算每组磁通采集点的轴向坐标的平均值， $c1 = (c11 + c12 + \cdots + c1a)/a$ ， $c2 = (c21 + c22 + \cdots + c2b)/b$ ，……，得到序列 $(c1, c2, \cdots)$ ；

步骤 S34，设置被测钢丝绳的缺陷漏磁信号预设峰峰值阈值 vp ， vp 为最小缺陷的漏磁信号预设峰峰值；

将被测钢丝绳的漏磁信号与缺陷漏磁信号预设峰峰值阈值 vp 比较，记录多组连续的漏磁信号大于缺陷漏磁信号预设峰峰值阈值 vp 的漏磁采样点，多组漏磁采样点的轴向坐标为 $[d11, d12 \cdots d1e]$ ， $[d21, d22 \cdots d2f]$ ，……，得到序列 $(d1, d2, \cdots)$ ；

步骤 S35，计算每组漏磁采集点的轴向坐标最大最小值的平均值，即 $d1 = (d11 + d1e)/2$ ， $d2 = (d21 + d2f)/2$ ，……；

步骤 S36，对比序列 $(c1, c2, \cdots)$ 和序列 $(d1, d2, \cdots)$ ，如果 $|ci - dj| < M$ ，其中 M

为钢丝绳股距，则保留 c_i ，舍弃 d_j ，否则 c_i 和 d_j 都保留，计算结果则为缺陷位置。

作为本发明的进一步改进，步骤 S40，所述提取缺陷磁通信号包括：根据每组磁通采样点的位置信息，对钢丝绳的磁通信号向前和向后提取 FM 个点作为缺陷磁通信号，其中 $FM=NO \times SM$ ， SM 为 1 个股距的采样点数量， NO 为 5-10 的自然数；

所述提取缺陷漏磁信号包括：根据每组漏磁采集点的位置信息，对钢丝绳的漏磁信号向前和向后提取 LFM 个点作为缺陷漏磁信号， LSM 为 1 个股距的采样点数量， $LFM=LNO \times LSM$ ， LNO 为 5-10 的自然数。

作为本发明的进一步改进，步骤 S50 中计算被测钢丝绳的缺陷宽度 flw 包括以下步骤：

步骤 S51，先根据公式 $h(s)=df(s)/ds$ ($s=1, 2, \dots, k$) 求解被测钢丝绳的缺陷磁通信号的微分结果 $h(s)$ ，其中， k 为缺陷磁通信号的数据个数， $f(s)$ 为缺陷磁通信号的数据；然后根据缺陷磁通信号的波形峰值点位置，向前取 $h(s)$ 的最大值的位置，向后取 $h(s)$ 的最小值的位置，计算最大值和最小值之间的间距作为所述缺陷磁通信号的波形宽度值 Ylw ；

步骤 S52，根据缺陷漏磁信号的波形峰值点位置，计算缺陷漏磁信号的最大值和最小值之间的间距作为所述缺陷磁通信号的波形宽度值 Xlw ；

步骤 S53，当 $|Ylw-Xlw| < M$ ， M 为钢丝绳股距，选取 Ylw 、 Xlw 中的较大值为缺陷宽度 flw ；当 $|Ylw-Xlw| \geq M$ ，缺陷宽度 $flw=(Ylw+Xlw)/2-LF$ ，其中 LF 为传感器距离钢丝绳表面的距离。

作为本发明的进一步改进，步骤 S60，计算被测钢丝绳的缺陷截面损失量 fs 包括如下步骤：

步骤 S61，将得到的缺陷磁通信号的波形峰值 T 和波形基线值 L ，通过公式 $VPP=|T-L|$ 计算所述缺陷磁通信号的波形峰峰值 VPP ；

步骤 S62，设计关系函数 $fs=f1(VPP, flw)$ ，其中， $f1$ 为训练的多次方程组或者多层神经网络；

步骤 S63，将步骤 S50 中得到的缺陷宽度值 flw 和 S61 的缺陷磁通信号的波形峰峰值 VPP ，代入到步骤 S62 中的多次方程组或者多层神经网络中，计算得到钢丝绳的缺陷截面损失量 fs 。

作为本发明的进一步改进，步骤 S62 中所述训练的多次方程组或者多层神经网络

f1 采用以下步骤得到：

步骤 S621，设计 x 个缺陷宽度， y 个缺陷截面损失量，总共 $x \times y$ 个标准表面缺陷， x 和 y 均为自然数；

步骤 S622：对 $x \times y$ 个标准表面缺陷经过步骤 S10 至步骤 S60 的计算得到相应的缺陷磁通波形峰峰值；

步骤 S623：将相应的缺陷磁通波形峰峰值和标准表面缺陷的缺陷宽度作为输入自变量，缺陷截面损失量作为输出标准量，训练得到多次方程组或者多层神经网络 f1。

本发明还公开了一种检测及区分钢丝绳内外缺陷的无损检测装置，其包括：

励磁结构，用于将钢丝绳励磁至饱和或近似饱和状态；

磁通检测传感器，用于获取被测钢丝绳的磁通信号；

磁场强度检测传感器，用于获取所述被测钢丝绳的漏磁信号；

以及信号采集和处理系统，其采用如上所述的检测及区分钢丝绳内外缺陷的无损检测方法进行处理；

所述信号采集和处理系统包括信号采集单元、信号预处理单元、缺陷位置计算单元、缺陷信号提取单元、缺陷宽度计算单元、缺陷截面损失量计算单元、内外部缺陷区分单元和缺陷埋藏深度计算单元，其中，

所述信号采集单元用于采集被测钢丝绳的磁通信号和漏磁信号，

所述信号预处理单元用于对被测钢丝绳的磁通信号和漏磁信号进行预处理；

所述缺陷位置计算单元用于根据预处理后的磁通信号、漏磁信号分别与预设磁通信号阈值、预设漏磁信号阈值进行对比，计算缺陷位置；

所述缺陷信号提取单元用于根据缺陷位置，提取缺陷磁通信号和缺陷漏磁信号；

所述缺陷宽度计算单元用于根据缺陷磁通信号和缺陷漏磁信号，计算被测钢丝绳的缺陷宽度 flw ；

所述缺陷截面损失量计算单元用于根据被测钢丝绳的缺陷宽度 flw ，计算被测钢丝绳的缺陷截面损失量 fs ；

所述内外部缺陷区分单元用于根据被测钢丝绳的缺陷宽度 flw 和缺陷磁通信号的波形峰峰值 FV ，区分是内部缺陷还是外部缺陷；

所述缺陷埋藏深度计算单元用于根据被测钢丝绳的缺陷宽度 flw 、被测钢丝绳的缺陷截面损失量 fs 和虚拟截面损失量 ffs 计算缺陷埋藏深度。

与现有技术相比，本发明的有益效果为：

采用本发明的技术方案，将钢丝绳励磁至饱和或近似饱和状态，通过检测并采集钢丝绳的磁通量和漏磁场量，通过计算和分析，不仅可以识别钢丝绳的所有类型缺陷，而且可以区分内外部缺陷；不仅可以对缺陷的进行精确定量检测，而且可以准确计算缺陷的埋藏深度，具有较高的定量精度。

附图说明

图 1 是本发明一种检测及区分钢丝绳内外缺陷的无损检测装置的示意图。

图 2 是本发明一种检测及区分钢丝绳内外缺陷的无损检测装置的传感器的示意图。

图 3 是本发明一种检测及区分钢丝绳内外缺陷的无损检测方法的流程图。

图 4 是本发明实施例得到的缺陷磁通信号的示意图。

图 5 是本发明实施例得到的缺陷漏磁信号的示意图。

附图标记包括：1-励磁结构，2-传感器，21-磁通检测传感器，22-磁场强度检测传感器，3-信号采集和处理系统。

具体实施方式

下面对本发明的较优的实施例作进一步的详细说明。

如图 1 所示，一种检测及区分钢丝绳内外缺陷的无损检测装置，其包括：

励磁结构 1，用于将钢丝绳励磁至饱和或近似饱和状态；

传感器 2，如图 2 所示，其包括用于获取被测钢丝绳的磁通信号的磁通检测传感器 21、和用于获取所述被测钢丝绳的漏磁信号的磁场强度检测传感器 22；

以及信号采集和处理系统 3，所述信号采集和处理系统包括信号采集单元、信号预处理单元、缺陷位置计算单元、缺陷信号提取单元、缺陷宽度计算单元、缺陷截面损失量计算单元、内外部缺陷区分单元和缺陷埋藏深度计算单元。

其中，所述信号采集单元用于采集被测钢丝绳的磁通信号和漏磁信号，

所述信号预处理单元用于对被测钢丝绳的磁通信号和漏磁信号进行预处理；

所述缺陷位置计算单元用于根据预处理后的磁通信号、漏磁信号分别与预设磁通信号阈值、预设漏磁信号阈值进行对比，计算缺陷位置；

所述缺陷信号提取单元用于根据缺陷位置，提取缺陷磁通信号和缺陷漏磁信号；

所述缺陷宽度计算单元用于根据缺陷磁通信号和缺陷漏磁信号，计算被测钢丝绳的缺陷宽度 flw ；

所述缺陷截面损失量计算单元用于根据被测钢丝绳的缺陷宽度 flw, 计算被测钢丝绳的缺陷截面损失量 fs;

所述内外部缺陷区分单元用于根据被测钢丝绳的缺陷宽度 flw 和缺陷磁通信号的波形峰峰值 FV, 区分是内部缺陷还是外部缺陷;

所述缺陷埋藏深度计算单元用于根据被测钢丝绳的缺陷宽度 flw、被测钢丝绳的缺陷截面损失量 fs 和 ffs 计算缺陷埋藏深度。

所述信号采集和处理系统采用如下所述的检测及区分钢丝绳内外缺陷的无损检测方法进行处理。

具体而言, 如图 3 所示, 所述的检测及区分钢丝绳内外缺陷的无损检测方法包括以下步骤:

Step10: 采集被测钢丝绳检测信号;

Step20: 对被测钢丝绳检测信号进行预处理;

Step30: 计算缺陷位置;

Step40: 提取缺陷信号;

Step50: 计算缺陷宽度;

Step60: 计算缺陷截面损失率;

Step70: 区分内外部缺陷;

Step80: 计算缺陷埋藏深度。

其中, step10 中采集被测钢丝绳检测信号包括磁通信号和漏磁信号, 具体包括:

通过磁通检测传感器获取被测钢丝绳的磁通信号, 通过磁场强度检测传感器获取所述被测钢丝绳的漏磁信号; 由于磁通信号受到钢丝绳的速度影响, 且无法准确实时的检测钢丝绳的速度, 所以需要消除钢丝绳速度的影响。对磁通信号 S 通过积分器对时间的积分处理, 然后通过等空间采样采集数据或者对磁通信号 S 通过积分器的对空间进行等距离积分处理采集, 如下公式:

$$\begin{cases} \bar{Y} = \int S dt \\ Y_i = \bar{Y}_m \quad (i = 1, 2, \dots, N) \end{cases}$$

$$\text{或者 } Y = \int S dl$$

其中 dt 表示对时间的微分, N 为总采样点数, dl 表示对空间距离的微分。

step20 中, 对被测钢丝绳检测信号进行预处理包括磁通信号的预处理和漏磁信号的预处理, 磁通信号的预处理包括野点剔除、噪声滤波、基线消除等, 能够提高磁通信号的信噪比, 更利于信号的特征提取。以下是具体的步骤:

Step21: 对磁通信号 Y 进行野点剔除, 设 $Y(i)$ 为第 i 个磁通采集信号, 当 $Y(i)$ 远大于前后磁通信号值时, $Y(i)=[Y(i-1)+Y(i+1)]/2$ ($i=1, 2, \dots, N$), 野点剔除处理之后得到信号 $Y_1(i)$, N 为总采样点数;

Step22: 采用自适应滤波、或者小波变换、或者平滑滤波、或者经验模态分解对所述被测钢丝绳的磁通信号进行噪声滤波, 其中, 采用平滑滤波对所述被测钢丝绳的磁通信号进行噪声滤波的计算公式为:

$$Y_2(i) = \frac{\sum_{i=m}^{m+n} Y_1(i)}{n} \quad (m=1, 2, \dots, N-n),$$

其中, 式中 n 为求均值的数据个数, N 为总采样点数;

Step23: 对以上信号进行基线消除, 基线消除采用的方法包括但不限于包络谱提取、小波分解、窗口平均、经验模态分解等, 以下是一种经验模态分解的方法: 找出以上信号数据序列 $Y_1(i)$ 的所有极大值点和极小值点, 将其用三次样条函数分别拟合为原序列的上和下包络线; 上下包络线的均值为 $m1$; 将数据序列减去 $m1$ 可得到一个减去低频的新序列 $Y_2(i)$, 即 $Y_2(i)=Y_1(i)-m1$ 。式中 n 为求均值的数据个数, N 为总采样点数;

漏磁信号的预处理主要是对每路漏磁信号进行野点剔除、噪声滤波、基线消除、股波滤除等, 能够提高漏磁信号的信噪比, 更利于信号的特征提取。以下是具体的步骤:

Step24: 对每路漏磁信号 X 进行野点剔除, 设 $X_{i,j}$ 为第 i 个霍尔传感器的第 j 个采样值, 当 $X_{i,j}$ 远大于前后漏磁信号值时:

$$X_{i,j} = \frac{X_{i,(j+1)} + X_{i,(j-1)}}{2}$$

野点剔除处理之后得到信号 $X_{i,j}$;

Step25: 对以上每路信号进行噪声滤除, 噪声滤除采用的方法包括但不限于自适应

滤波、小波变换、平滑滤波、经验模态分解等，以下是一种平滑滤波的处理方法：

$$\bar{X}_{i,j} = \frac{1}{n} \sum_{j=m}^{m+n} X_{i,j} \quad (i=1,2,\dots,k, m=1,2,\dots,N-n)$$

式中 n 为求均值的数据个数， N 为总采样点数， k 为传感器路数；

Step26: 对所述被测钢丝绳的每路漏磁信号进行基线消除，采用包络谱提取、或者小波分解、或者窗口平均、或者经验模态分解对所述被测钢丝绳的每路漏磁信号进行基线消除；其中，采用经验模态分解对所述被测钢丝绳的每路漏磁信号进行基线消除的步骤包括：找出野点剔除处理后的漏磁信号数据序列 X_y 的所有极大值点和极小值点，将其用三次样条函数分别拟合为原序列的上包络线和下包络线，上包络线和下包络线的均值为 $n1$ ；将原数据序列减去 $n1$ 得到减去低频的新序列 X_1 ，即 $X_1 = X_y - n1$ 。

Step27: 对所述被测钢丝绳的每路漏磁信号进行股波噪声滤除，采用小波分解、或者经验模态分解、或者自适应滤波、或者梯度法对所述被测钢丝绳的每路漏磁信号进行股波噪声滤除，其中，采用梯度法对所述被测钢丝绳的每路漏磁信号进行股波噪声滤除的步骤包括：

采用梯度法实现图像的一阶微分，对于图像 $X_1(x,y)$ ，其在坐标 (x,y) 处的梯度是二维列向量表示：

$$\nabla \mathbf{f} = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix},$$

这个向量的模是：

$$\nabla f = \text{mag}(\nabla \mathbf{f}) = [G_x^2 + G_y^2]^{\frac{1}{2}} = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}},$$

对多路漏磁信号进行求和处理，得到漏磁和信号 X_2 。

step30 中所述计算缺陷位置的方法如下：

Step31: 设置被测钢丝绳的缺陷磁通信号预设阈值 mp ， mp 为最小缺陷的磁通信号峰值；

Step32: 被测钢丝绳的磁通信号与预设阈值 mp 比较, 记录多组连续的磁通采样点, 多组采集点的轴向坐标为 $[c11, c12 \cdots c1a]$, $[c21, c22 \cdots c2b]$, $\cdots$;

Step33: 计算每组磁通采集点的轴向坐标的平均值, $c1 = (c11 + c12 + \cdots + c1a)/a$, $c2 = (c21 + c22 + \cdots + c2b)/b$, $\cdots$;

Step34: 设置被测钢丝绳的缺陷漏磁信号预设峰峰值阈值 vp , vp 为最小缺陷的漏磁信号预设峰峰值;

Step34: 被测钢丝绳的磁通信号与预设阈值 vp 比较, 记录多组连续的漏磁采样点, 多组采集点的轴向坐标为 $[d11, d12 \cdots d1e]$, $[d21, d22 \cdots d2f]$, $\cdots$;

Step35: 计算每组漏磁采集点的轴向坐标最大最小值的平均值, 即 $d1 = (d11 + d1e)/2$, $d2 = (d21 + d2f)/2$, $\cdots$;

Step36: 对比 $(c1, c2, \cdots)$ 和 $(d1, d2, \cdots)$, 如果有比较接近的数值, 即 $|ci - dj| < M$, M 为钢丝绳股距, 则保留 ci , 舍弃 dj , 否则 ci 和 dj 都保留, 计算结果则为缺陷位置。

step40 中所述提取缺陷信号包括提取缺陷的磁通信号和提取缺陷的漏磁信号, 具体包括:

Step41: 根据每组磁通采集点的位置信息, 对钢丝绳的磁通信号向前和向后提取 FM 个点, SM 为 1 个股距的采样点数量, $FM = NO \times SM$, NO 为 5-10, 也可以根据实际检测情况设置, 截取的数据作为缺陷磁通信号;

Step42: 根据每组漏磁采集点的位置信息, 对钢丝绳的漏磁信号向前和向后提取 LFM 个点, LSM 为 1 个股距的采样点数量, $LFM = LNO \times LSM$, LNO 为 5-10, 也可以根据实际检测情况设置, 截取的数据作为缺陷漏磁信号。

step50 中, 所述计算缺陷宽度的方法如下:

Step51: 先通过公式 $h(s) = df(s)/ds$ ($s=1, 2, \cdots, k$) 求解所述缺陷磁通信号的微分结果 $h(s)$, 其中, k 缺陷磁通信号的数据个数, $f(s)$ 为缺陷磁通信号的数据; 然后根据缺陷磁通信号的波形峰值点位置, 向前取 $h(s)$ 的最大值的位置, 向后取 $h(s)$ 的最小值的位置, 计算最大值和最小值之间的间距作为所述缺陷磁通信号的波形宽度值 Ylw , 如图 4 所示;

Step52: 根据缺陷漏磁信号波形峰值点位置, 计算缺陷漏磁信号的最大值和最小值

之间的间距作为所述缺陷磁通信号的波形宽度值 X_{lw} ;

Step53: 当 $|Y_{lw}-X_{lw}|<M$, M 为钢丝绳股距, 选取较大值为缺陷宽度 flw ; 当 $|Y_{lw}-X_{lw}|\geq M$, 缺陷宽度 $flw=(Y_{lw}+X_{lw})/2-LF$, LF 为传感器距离钢丝绳表面的距离。

step60 中, 所述计算缺陷截面损失量的方法如下:

Step61: 得到所述缺陷磁通信号的波形峰值 T 和波形基线值 L , 通过公式 $VPP=|T-L|$ 计算所述缺陷磁通信号的波形峰峰值 VPP ;

Step62: 设计关系函数 $fs=f1(VPP, flw)$, 其中, $f1$ 为训练的多次方程组或者多层神经网络;

Step63: 将步骤 S50 中得到的缺陷宽度值 flw 和 S61 的缺陷磁通信号的波形峰峰值 VPP , 代入到步骤 S62 中的多次方程组或者多层神经网络中, 计算得到准确的缺陷金属截面损失量 fs 。

step62 中所述训练的多次方程组或者多层神经网络 $f1$ 采用如下方法得到:

Step621: 设计 x 个宽度 flw , y 个金属截面损失面积 fs , 总共 $x \times y$ 个标准表面缺陷, x 和 y 均为自然数;

Step622: 对 $x \times y$ 个标准伤经过步骤 S10 至步骤 S60 的计算得到相应的缺陷磁通波形峰峰值 VPP ;

Step623: 将波形峰峰值 VPP 和标准伤波形宽度值 flw 作为输入自变量, 截面损失面积 fs 作为输出标准量, 训练得到多次方程组或者多层神经网络 $f1$ 。

step70 中, 所述区分内外部缺陷方法包括如下步骤:

Step71: 得到所述缺陷漏磁信号的波形峰值 FH 和波形谷值 FL , 如图 5 所示, 通过公式 $FV=FH-FL$ 计算所述缺陷漏磁信号的波形峰峰值 FV ;

Step72: 设计关系函数 $ffs=f2(FV, flw)$, 其中, $f2$ 为训练的多次方程组或者多层神经网络;

Step73: 将步骤 S50 中得到的缺陷宽度值 flw 和 S71 的缺陷漏磁信号的波形峰峰值 FV , 代入到步骤 S72 中的多次方程组或者多层神经网络中, 计算得到虚拟截面损失量 ffs ;

Step74: 对比 ffs 和 S63 中的 fs , 如果 $|fs-ffs|>\mu$, 其中 μ 可设置为一根断丝的截面

损失率，或者根据实际情况设置，此缺陷为内部缺陷，否则为外部缺陷。

其中 step72 所述训练的多次方程组或者多层神经网络 f2 采用如下方法得到：

Step721：设计 x 个宽度 flw， y 个金属截面损失面积 fs，总共 $x \times y$ 个标准表面缺陷， x 和 y 均为自然数；

Step722：对 $x \times y$ 个标准伤经过步骤 S10 至步骤 S60 的计算得到相应的缺陷漏磁波形峰峰值 FV；

Step723：将波形峰峰值 FV 和标准伤波形宽度值 flw 作为输入自变量，ffs 作为输出标准量，训练得到多次方程组或者多层神经网络 f2。

step80 中，所述计算缺陷埋藏深度的方法如下：

Step81：根据 S70 结果，如果缺陷为外部，则缺陷的埋藏深度为 0，否则缺陷的埋藏深度不为 0，进行 S82 步骤；

Step82：设计关系函数 $fd=f3(fs, ffs, flw)$ ，其中，f3 为训练的多次方程组或者多层神经网络；

Step83：将 S50 中得到的缺陷宽度值 flw，S60 得到的 fs 和 S70 得到的 ffs 代入到步骤 S82 中的多次方程组或者多层神经网络中，计算得到缺陷的埋藏深度 fd。

其中 step82 的训练多次方程组或者多层神经网络 f3 方法如下：

Step821：设计 x 个宽度 flw， y 个金属截面损失面积 fs， z 个不同埋藏深度 fd，总共 $x \times y \times z$ 个标准缺陷， x 、 y 和 z 均为自然数；

Step822：对 $x \times y \times z$ 个标准伤经过步骤 S10 至步骤 S70 的计算得到相应的 ffs；

Step823：将 ffs，fs 和 flw 作为输入自变量，fd 作为输出标准量，训练得到多次方程组或者多层神经网络 f3。

采用本实施例的技术方案，将钢丝绳励磁至饱和或近似饱和，对钢丝绳的磁通量和漏磁信号进行采集和预处理，提取缺陷磁信号，对缺陷的磁通信号和漏磁信号分别进行计算分析，对两种信号的计算结果进行融合分析，可以区分内外部缺陷，进一步对缺陷进行定量计算，最后得到的缺陷埋藏深度结果准确。

以上内容是结合具体的优选实施方式对本发明所作的进一步详细说明，不能认定本发明的具体实施只局限于这些说明。对于本发明所属技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干简单推演或替换，都应当视为属于本

发明的保护范围。

权利要求书

1. 一种检测及区分钢丝绳内外缺陷的无损检测方法，其特征在于，其包括以下步骤：

步骤 S10，采集被测钢丝绳的磁通信号和漏磁信号；

步骤 S20，对被测钢丝绳的磁通信号和漏磁信号进行预处理；

步骤 S30，根据预处理后的磁通信号、漏磁信号分别与预设磁通信号阈值、预设漏磁信号阈值进行对比，计算缺陷位置；

步骤 S40，根据缺陷位置，提取缺陷磁通信号和缺陷漏磁信号；

步骤 S50，根据缺陷磁通信号和缺陷漏磁信号，计算被测钢丝绳的缺陷宽度 flw ；

步骤 S60，根据被测钢丝绳的缺陷宽度 flw ，计算被测钢丝绳的缺陷截面损失量 fs ；

步骤 S70，区分内外部缺陷：

采用公式 $FV = FH - FL$ 计算所述缺陷漏磁信号的波形峰峰值 FV ，其中， FH 为所述缺陷漏磁信号的波形峰值， FL 为所述缺陷漏磁信号的波形谷值；

设计关系函数 $ffs = f2(FV, flw)$ ，其中， $f2$ 为训练的多次方程组或者多层神经网络， ffs 为虚拟截面损失量；

将步骤 S50 中得到的缺陷宽度 flw 和所述缺陷漏磁信号的波形峰峰值 FV ，代入所述设计关系函数中，计算得到虚拟截面损失量 ffs ；

对比 ffs 和 fs ，如果 $|fs - ffs| > \mu$ ，此缺陷为内部缺陷，否则为外部缺陷；

其中， μ 为预设的缺陷判定值。

2. 根据权利要求 1 所述的检测及区分钢丝绳内外缺陷的无损检测方法，其特征在于：

还包括：

步骤 S80，计算缺陷埋藏深度：

根据 S70 结果，如果缺陷为外部缺陷，则缺陷的埋藏深度为 0，否则缺陷的埋藏深度不

为 0，则进行以下步骤：

根据以下公式计算缺陷的埋藏深度 f_d ，

$$f_d = f_3(f_s, f_{fs}, f_{lw}),$$

其中， f_3 为训练的多次方程组或者多层神经网络， f_{lw} 为被测钢丝绳的缺陷宽度， f_s 为被测钢丝绳的缺陷截面损失量， f_{fs} 为虚拟截面损失量。

3. 根据权利要求 2 所述的检测及区分钢丝绳内外缺陷的无损检测方法，其特征在于：

步骤 S70 中，训练的多次方程组或者多层神经网络 f_2 采用以下步骤得到：

Step721：设计 x 个缺陷宽度， y 个缺陷截面损失量，总共 $x \times y$ 个标准表面缺陷， x 和 y 均为自然数；

Step722：对 $x \times y$ 个标准表面缺陷经过步骤 S10 至步骤 S60 的计算得到相应的缺陷漏磁波形峰峰值；

Step723：将得到的缺陷漏磁波形峰峰值和标准表面缺陷的缺陷宽度作为输入自变量，

f_{fs} 作为输出标准量，训练得到多次方程组或者多层神经网络 f_2 ；

步骤 S80 中，训练的多次方程组或者多层神经网络 f_3 采用以下步骤得到：

Step821：设计 x 个缺陷宽度， y 个缺陷截面损失量， z 个不同埋藏深度，总共 $x \times y \times z$ 个标准缺陷， x 、 y 和 z 均为自然数；

Step822：对 $x \times y \times z$ 个标准缺陷经过步骤 S10 至步骤 S70 的计算得到相应的 f_{fs} ；

Step823：将得到的 f_{fs} 、缺陷截面损失量和缺陷宽度作为输入自变量，缺陷的埋藏深度作为输出标准量，训练得到多次方程组或者多层神经网络 f_3 。

4. 根据权利要求 2 所述的检测及区分钢丝绳内外缺陷的无损检测方法，其特征在于：

步骤 S10 中包括，通过磁通检测传感器获取被测钢丝绳的磁通信号，通过磁场强度检

测传感器获取所述被测钢丝绳的漏磁信号，并采用以下步骤对获取的被测钢丝绳的磁通信号进行初步处理，消除钢丝绳速度的影响；

对磁通信号采用如下公式通过积分器对时间的积分处理，然后通过等空间采样采集数据，

$$\begin{cases} \bar{Y} = \int S dt \\ Y_i = \bar{Y}_m \quad (i=1, 2, \dots, N) \end{cases}, \text{ 其中 } Y_i \text{ 为初步处理后的被测钢丝绳的磁通信号, } S \text{ 为采集}$$

到的被测钢丝绳的磁通信号，dt 表示对时间的微分，N 为总采样点数；

或者采用以下公式对磁通信号通过积分器的对空间进行等距离积分处理采集；

$$Y = \int S dl, \text{ 其中 } Y \text{ 为初步处理后的被测钢丝绳的磁通信号, } dl \text{ 表示对空间距离的微分,}$$

S 为采集到的被测钢丝绳的磁通信号。

5. 根据权利要求 4 所述的检测及区分钢丝绳内外缺陷的无损检测方法，其特征在于：

步骤 S20 中对被测钢丝绳的磁通信号进行预处理包括对被测钢丝绳的磁通信号进行野点剔除、噪声滤波、基线消除；

其中，对所述被测钢丝绳的磁通信号进行野点剔除的步骤包括：

对所述被测钢丝绳的磁通信号 Y 进行野点剔除，设 $Y(i)$ 为第 i 个磁通采集信号，当 $Y(i)$ 远大于前后磁通信号值时， $Y(i)=[Y(i-1)+Y(i+1)]/2$ ($i=1, 2, \dots, N$)，野点剔除处理之后得到信号 $Y_1(i)$ ，N 为总采样点数；

对所述被测钢丝绳的磁通信号进行噪声滤波的步骤包括：

采用自适应滤波、或者小波变换、或者平滑滤波、或者经验模态分解对所述被测钢丝绳的磁通信号进行噪声滤波，其中，采用平滑滤波对所述被测钢丝绳的磁通信号进行噪声滤波的计算公式为：

$$Y_2(i) = \frac{\sum_{i=m}^{m+n} Y_1(i)}{n} (m = 1, 2, \dots, N - n),$$

其中，式中 n 为求均值的数据个数， N 为总采样点数；

对所述被测钢丝绳的磁通信号进行基线消除的步骤包括：

采用包络谱提取、或小波分解、或窗口平均、或经验模态分解对所述被测钢丝绳的磁通信号进行基线消除，其中，采用经验模态分解对所述被测钢丝绳的磁通信号进行基线消除的步骤包括：

找出信号数据序列 $Y_2(i)$ 的所有极大值点和极小值点，将其用三次样条函数分别拟合为原序列的上包络线和下包络线；上包络线和下包络线的均值为 $m1$ ；将数据序列 $Y_2(i)$ 减去 $m1$ 得到一个减去低频的新序列 $Y_3(i)$ ，即 $Y_3(i) = Y_2(i) - m1$ ；

步骤 S20 中，对被测钢丝绳的漏磁信号进行预处理包括对被测钢丝绳的每路漏磁信号进行野点剔除、噪声滤波、基线消除、股波噪声滤除；

其中，对所述被测钢丝绳的每路漏磁信号进行野点剔除的步骤包括：

对每路漏磁信号 X 进行野点剔除，设 $X_{i,j}$ 为第 i 个霍尔传感器的第 j 个采样值，当 $X_{i,j}$ 远大于前后漏磁信号值时：

$$X_{i,j} = \frac{X_{i,(j+1)} + X_{i,(j-1)}}{2}$$

野点剔除处理之后得到信号 $X_{i,j}$ ；

对所述被测钢丝绳的每路漏磁信号进行噪声滤波的步骤包括：

采用自适应滤波、或者小波变换、或者平滑滤波、或者经验模态分解对被测钢丝绳的每路漏磁信号进行噪声滤波；其中，采用平滑滤波对所述被测钢丝绳的每路漏磁信号进行噪声滤波的计算公式为：

$$\bar{X}_{i,j} = \frac{1}{n} \sum_{j=m}^{m+n} X_{i,j} \quad (i=1,2,\dots,k, m=1,2,\dots,N-n)$$

其中，式中 n 为求均值的数据个数， N 为总采样点数， k 为采集被测钢丝绳的漏磁信号的磁场强度检测传感器路数；

对所述被测钢丝绳的每路漏磁信号进行基线消除的步骤包括：

采用包络谱提取、或者小波分解、或者窗口平均、或者经验模态分解对所述被测钢丝绳的每路漏磁信号进行基线消除；其中，采用经验模态分解对所述被测钢丝绳的每路漏磁信号进行基线消除的步骤包括：

找出野点剔除处理后的漏磁信号数据序列 Xy 的所有极大值点和极小值点，将其用三次样条函数分别拟合为原序列的上包络线和下包络线，上包络线和下包络线的均值为 $n1$ ；

将原数据序列减去 $n1$ 得到减去低频的新序列 XI ，即 $XI = Xy - n1$ ；

对所述被测钢丝绳的每路漏磁信号进行股波噪声滤除的步骤包括：

采用小波分解、或者经验模态分解、或者自适应滤波、或者梯度法对所述被测钢丝绳的每路漏磁信号进行股波噪声滤除，其中，采用梯度法对所述被测钢丝绳的每路漏磁信号进行股波噪声滤除的步骤包括：

采用梯度法实现图像的一阶微分，对于图像 $X_1(x,y)$ ，其在坐标 (x,y) 处的梯度是二维列向量表示：

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix},$$

这个向量的模是：

$$\nabla f = \text{mag}(\nabla f) = [G_x^2 + G_y^2]^{\frac{1}{2}} = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}},$$

对多路漏磁信号进行求和处理，得到漏磁和信号 X_2 。

6. 根据权利要求 5 所述的检测及区分钢丝绳内外缺陷的无损检测方法，其特征在于：

步骤 S30 中计算缺陷位置包括以下步骤：

步骤 S31，设置被测钢丝绳的缺陷磁通信号预设阈值 mp ， mp 为最小缺陷的磁通信号峰值；

步骤 S32，将被测钢丝绳的磁通信号与缺陷磁通信号预设阈值 mp 比较，记录多组连续的磁通信号大于缺陷磁通信号预设阈值 mp 的磁通采样点，多组磁通采集点的轴向坐标为 $[c11, c12, \dots, c1a]$ ， $[c21, c22, \dots, c2b]$ ， $\dots$ ；

步骤 S33，计算每组磁通采集点的轴向坐标的平均值， $c1 = (c11 + c12 + \dots + c1a) / a$ ， $c2 = (c21 + c22 + \dots + c2b) / b$ ， $\dots$ ，得到序列 $(c1, c2, \dots)$ ；

步骤 S34，设置被测钢丝绳的缺陷漏磁信号预设峰峰值阈值 vp ， vp 为最小缺陷的漏磁信号预设峰峰值；

将被测钢丝绳的漏磁信号与缺陷漏磁信号预设峰峰值阈值 vp 比较，记录多组连续的漏磁信号大于缺陷漏磁信号预设峰峰值阈值 vp 的漏磁采样点，多组漏磁采样点的轴向坐标为 $[d11, d12, \dots, d1e]$ ， $[d21, d22, \dots, d2f]$ ， $\dots$ ，得到序列 $(d1, d2, \dots)$ ；

步骤 S35，计算每组漏磁采集点的轴向坐标最大最小值的平均值，即 $d1 = (d11 + d1e) / 2$ ， $d2 = (d21 + d2f) / 2$ ， $\dots$ ；

步骤 S36，对比序列 $(c1, c2, \dots)$ 和序列 $(d1, d2, \dots)$ ，如果 $|ci - dj| < M$ ，其中 M 为钢丝绳股距，则保留 ci ，舍弃 dj ，否则 ci 和 dj 都保留，计算结果则为缺陷位置。

7. 根据权利要求 6 所述的检测及区分钢丝绳内外缺陷的无损检测方法，其特征在于：

步骤 S40，所述提取缺陷磁通信号包括：根据每组磁通采样点的位置信息，对钢丝绳的

磁通信号向前和向后提取 FM 个点作为缺陷磁通信号，其中 $FM=NO \times SM$ ， SM 为 1 个股距的采样点数量， NO 为 5-10 的自然数；

所述提取缺陷漏磁信号包括：根据每组漏磁采集点的位置信息，对钢丝绳的漏磁信号向前和向后提取 LFM 个点作为缺陷漏磁信号， LSM 为 1 个股距的采样点数量， $LFM=LNO \times LSM$ ， LNO 为 5-10 的自然数。

8. 根据权利要求 7 所述的检测及区分钢丝绳内外缺陷的无损检测方法，其特征在于：

步骤 S50 中计算被测钢丝绳的缺陷宽度 flw 包括以下步骤：

步骤 S51，先根据公式 $h(s)=df(s)/ds$ ($s=1, 2, \dots, k$) 求解被测钢丝绳的缺陷磁通信号的微分结果 $h(s)$ ，其中， k 为缺陷磁通信号的数据个数， $f(s)$ 为缺陷磁通信号的数据；然后根据缺陷磁通信号的波形峰值点位置，向前取 $h(s)$ 的最大值的位置，向后取 $h(s)$ 的最小值的位置，计算最大值和最小值之间的间距作为所述缺陷磁通信号的波形宽度值 Ylw ；

步骤 S52，根据缺陷漏磁信号的波形峰值点位置，计算缺陷漏磁信号的最大值和最小值之间的间距作为所述缺陷磁通信号的波形宽度值 Xlw ；

步骤 S53，当 $|Ylw-Xlw| < M$ ， M 为钢丝绳股距，选取 Ylw 、 Xlw 中的较大值为缺陷宽度 flw ；当 $|Ylw-Xlw| \geq M$ ，缺陷宽度 $flw=(Ylw+Xlw)/2-LF$ ，其中 LF 为传感器距离钢丝绳表面的距离。

9. 根据权利要求 8 所述的检测及区分钢丝绳内外缺陷的无损检测方法，其特征在于：

步骤 S60，计算被测钢丝绳的缺陷截面损失量 fs 包括如下步骤：

步骤 S61，将得到的缺陷磁通信号的波形峰值 T 和波形基线值 L ，通过公式 $VPP=|T-L|$ 计算所述缺陷磁通信号的波形峰峰值 VPP ；

步骤 S62，设计关系函数 $fs=f1(VPP, flw)$ ，其中， $f1$ 为训练的多次方程组或者多层神经

网络;

步骤 S63, 将步骤 S50 中得到的缺陷宽度值 flw 和 S61 的缺陷磁通信号的波形峰峰值 VPP , 代入到步骤 S62 中的多次方程组或者多层神经网络中, 计算得到钢丝绳的缺陷截面损失量 fs ;

其中, 步骤 S62 中所述训练的多次方程组或者多层神经网络 $f1$ 采用以下步骤得到:

步骤 S621, 设计 x 个缺陷宽度, y 个缺陷截面损失量, 总共 $x \times y$ 个标准表面缺陷, x 和 y 均为自然数;

步骤 S622: 对 $x \times y$ 个标准表面缺陷经过步骤 S10 至步骤 S60 的计算得到相应的缺陷磁通波形峰峰值;

步骤 S623: 将相应的缺陷磁通波形峰峰值和标准表面缺陷的缺陷宽度作为输入自变量, 缺陷截面损失量作为输出标准量, 训练得到多次方程组或者多层神经网络 $f1$ 。

10. 一种检测及区分钢丝绳内外缺陷的无损检测装置, 其特征在于, 其包括:

励磁结构, 用于将钢丝绳励磁至饱和或近似饱和状态;

磁通检测传感器, 用于获取被测钢丝绳的磁通信号;

磁场强度检测传感器, 用于获取所述被测钢丝绳的漏磁信号;

以及信号采集和处理系统, 所述信号采集和处理系统采用如权利要求 2~9 任意一项所述的检测及区分钢丝绳内外缺陷的无损检测方法进行处理;

所述信号采集和处理系统包括信号采集单元、信号预处理单元、缺陷位置计算单元、缺陷信号提取单元、缺陷宽度计算单元、缺陷截面损失量计算单元、内外部缺陷区分单元和缺陷埋藏深度计算单元, 其中,

所述信号采集单元用于采集被测钢丝绳的磁通信号和漏磁信号,

所述信号预处理单元用于对被测钢丝绳的磁通信号和漏磁信号进行预处理；

所述缺陷位置计算单元用于根据预处理后的磁通信号、漏磁信号分别与预设磁通信号阈值、预设漏磁信号阈值进行对比，计算缺陷位置；

所述缺陷信号提取单元用于根据缺陷位置，提取缺陷磁通信号和缺陷漏磁信号；

所述缺陷宽度计算单元用于根据缺陷磁通信号和缺陷漏磁信号，计算被测钢丝绳的缺陷宽度 flw ；

所述缺陷截面损失量计算单元用于根据被测钢丝绳的缺陷宽度 flw ，计算被测钢丝绳的缺陷截面损失量 fs ；

所述内外部缺陷区分单元用于根据被测钢丝绳的缺陷宽度 flw 和缺陷磁通信号的波形峰峰值 FV ，区分是内部缺陷还是外部缺陷；

所述缺陷埋藏深度计算单元用于根据被测钢丝绳的缺陷宽度 flw 、被测钢丝绳的缺陷截面损失量 fs 和虚拟截面损失量 ffs 计算缺陷埋藏深度。

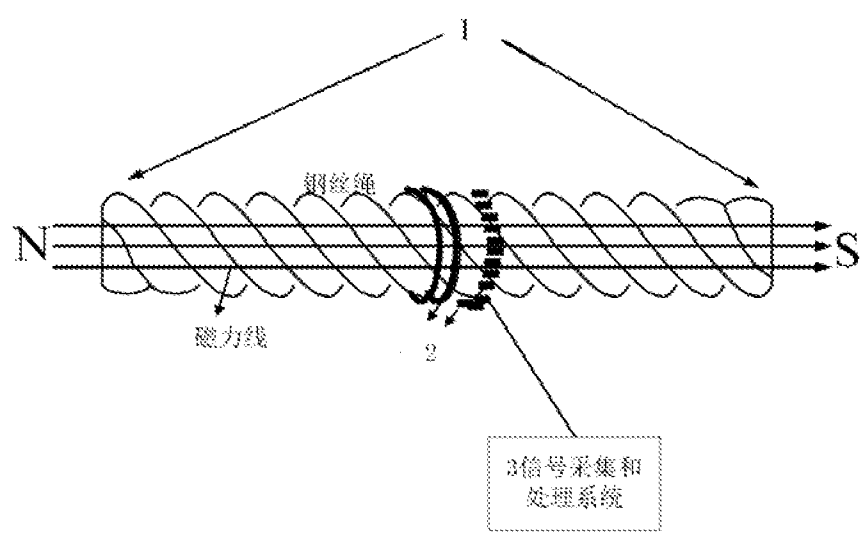


图 1

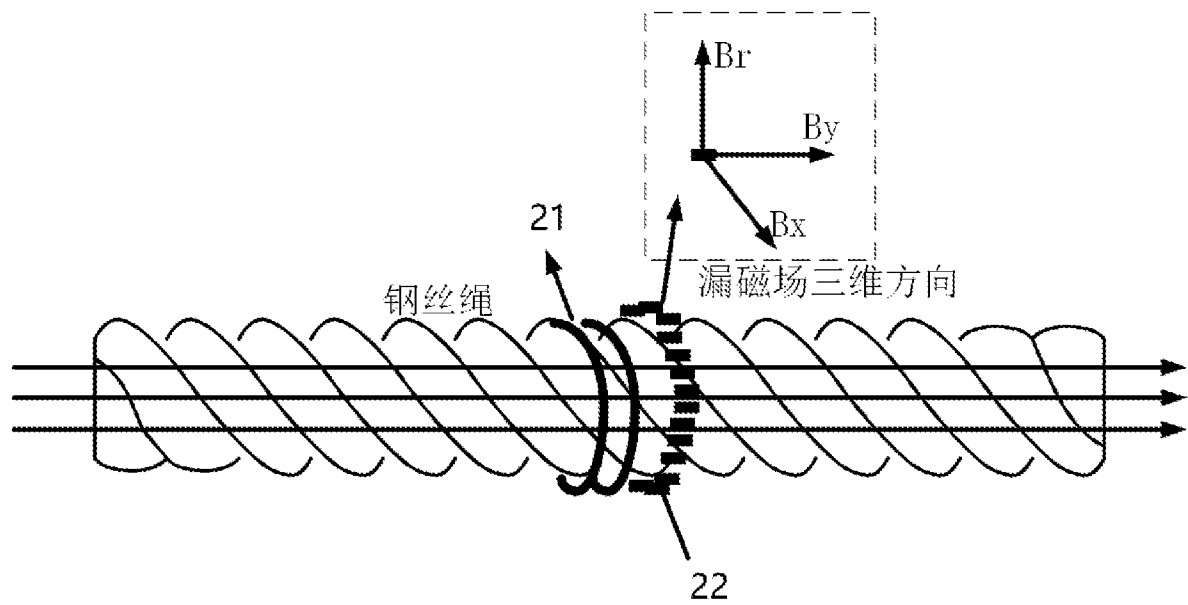


图 2

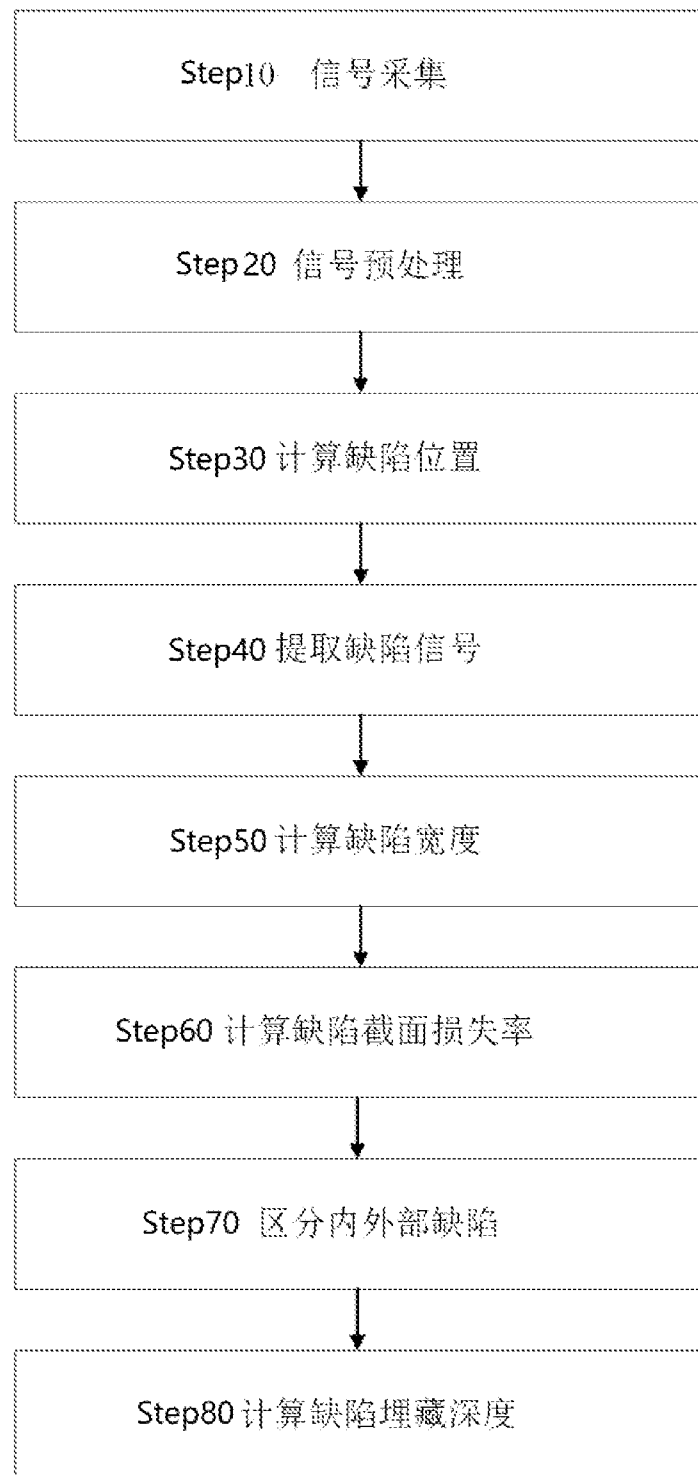


图 3

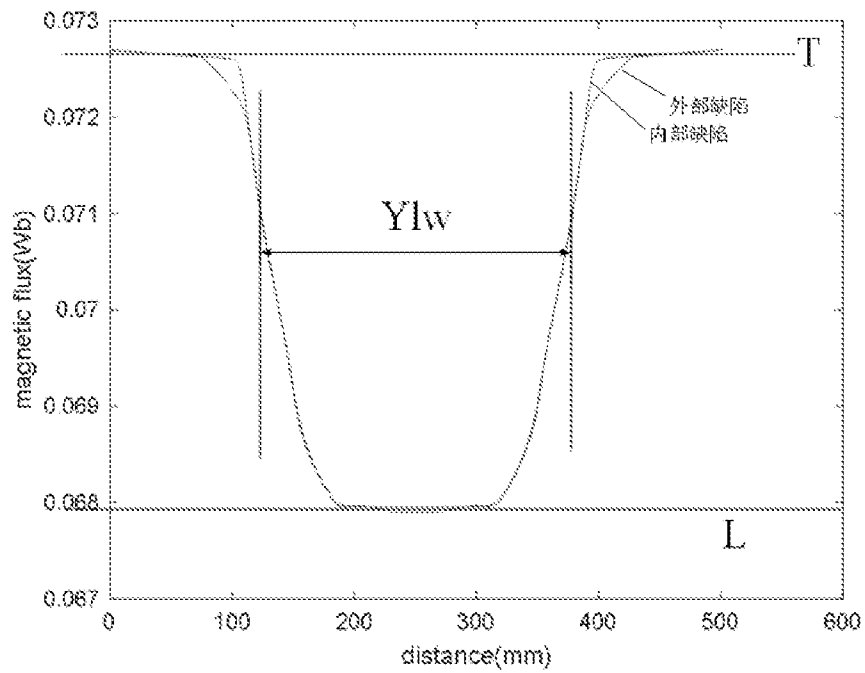


图 4

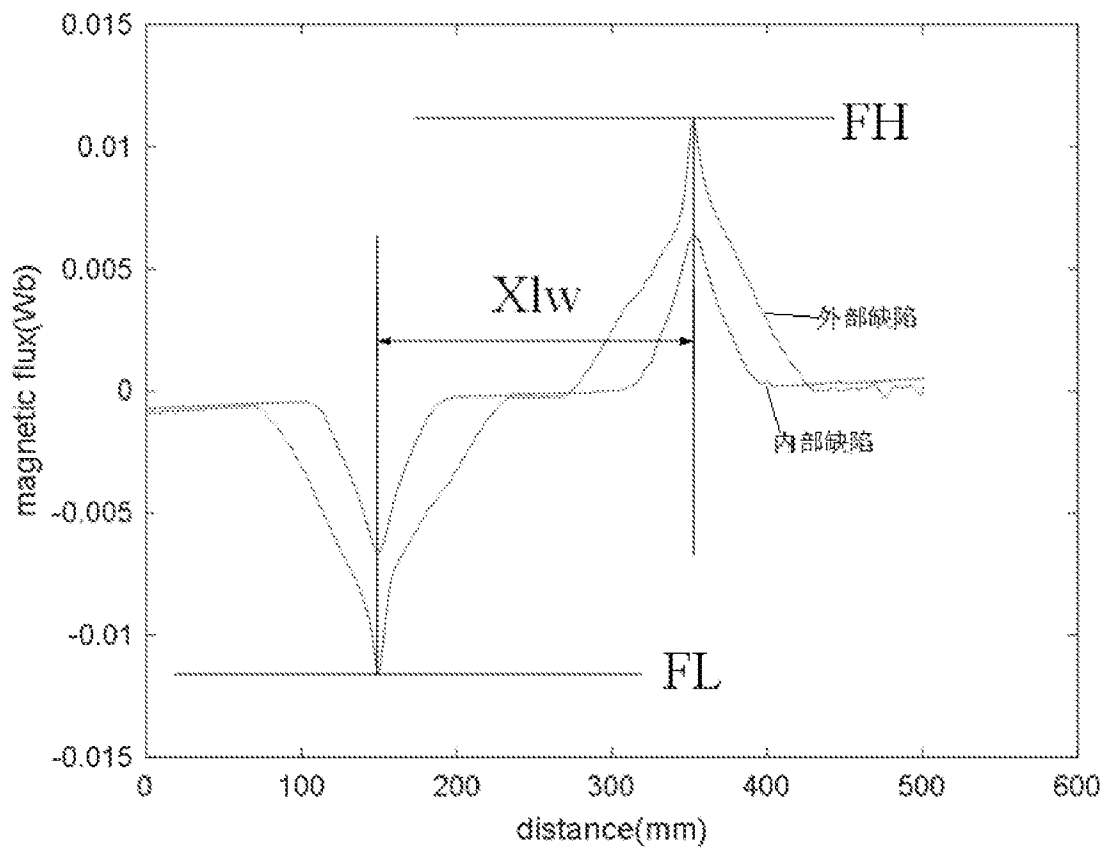


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/081320

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N 27/85(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)

G01N

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)

CNPAT, WPI, EPODOC, CNKI: 哈尔滨工业大学(深圳), 缺陷, 内, 外, 磁, 检, 测, 无损, 钢丝绳, 钢, 绳, 线, 缆, 磁通, 漏磁, steel, wire, rope, cable, non-destructive, test, detect, determine, check, monitor, inter+, exter+, defect, damage

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 111579637 A (HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY, SHENZHEN (HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY, SHENZHEN SCIENCE INNOVATION RESEARCH INSTITUTE)) 25 August 2020 (2020-08-25) description paragraphs [0008]-[0106]	1-10
A	CN 110568059 A (HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY, SHENZHEN) 13 December 2019 (2019-12-13) description paragraphs [0007]-[0069]	1-10
A	CN 111024807 A (HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY, SHENZHEN) 17 April 2020 (2020-04-17) entire document	1-10
A	CN 101216460 A (TSINGHUA UNIVERSITY) 09 July 2008 (2008-07-09) entire document	1-10
A	CN 104514987 A (TSINGHUA UNIVERSITY) 15 April 2015 (2015-04-15) entire document	1-10
A	CN 102798667 A (LASER INSTITUTE OF SHANDONG ACADEMY OF SCIENCES) 28 November 2012 (2012-11-28) entire document	1-10



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

18 May 2021

Date of mailing of the international search report

01 June 2021

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
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/CN2021/081320**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 102798660 A (NORTHEASTERN UNIVERSITY) 28 November 2012 (2012-11-28) entire document	1-10
A	WO 2007012331 A2 (V&M DEUTSCHLAND GMBH et al.) 01 February 2007 (2007-02-01) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2021/081320

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	111579637	A	25 August 2020	None			
CN	110568059	A	13 December 2019	None			
CN	111024807	A	17 April 2020	None			
CN	101216460	A	09 July 2008	CN	101216460	B	26 January 2011
CN	104514987	A	15 April 2015	US	2016178580	A1	23 June 2016
				CN	104514987	B	22 February 2017
CN	102798667	A	28 November 2012	CN	102798667	B	13 August 2014
CN	102798660	A	28 November 2012	CN	102798660	B	11 November 2015
WO	2007012331	A2	01 February 2007	US	7783432	B2	24 August 2010
				CA	2616897	C	16 June 2015
				AR	054887	A1	25 July 2007
				US	2008228412	A1	18 September 2008
				CA	2616897	A1	01 February 2007
				MX	2008001357	A	16 April 2008
				EP	1910814	A2	16 April 2008

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/081320

A. 主题的分类 G01N 27/85 (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) G01N 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)) CNPAT, WPI, EPDOC, CNKI: 哈尔滨工业大学 (深圳), 缺陷, 内, 外, 磁, 检, 测, 无损, 钢丝绳, 钢, 绳, 线, 缆, 磁通, 漏磁, steel, wire, rope, cable, non-destructive, test, detect, determine, check, monitor, inter+, exter+, defect, damage																										
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>PX</td> <td>CN 111579637 A (哈尔滨工业大学深圳哈尔滨工业大学深圳科技创新研究院) 2020年 8 月 25日 (2020 - 08 - 25) 说明书第[0008]-[0106]段</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 110568059 A (哈尔滨工业大学深圳) 2019年 12月 13日 (2019 - 12 - 13) 说明书第[0007]-[0069]段</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 111024807 A (哈尔滨工业大学深圳) 2020年 4月 17日 (2020 - 04 - 17) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 101216460 A (清华大学) 2008年 7月 9日 (2008 - 07 - 09) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104514987 A (清华大学) 2015年 4月 15日 (2015 - 04 - 15) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102798667 A (山东省科学院激光研究所) 2012年 11月 28日 (2012 - 11 - 28) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102798660 A (东北大学) 2012年 11月 28日 (2012 - 11 - 28) 全文</td> <td>1-10</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	PX	CN 111579637 A (哈尔滨工业大学深圳哈尔滨工业大学深圳科技创新研究院) 2020年 8 月 25日 (2020 - 08 - 25) 说明书第[0008]-[0106]段	1-10	A	CN 110568059 A (哈尔滨工业大学深圳) 2019年 12月 13日 (2019 - 12 - 13) 说明书第[0007]-[0069]段	1-10	A	CN 111024807 A (哈尔滨工业大学深圳) 2020年 4月 17日 (2020 - 04 - 17) 全文	1-10	A	CN 101216460 A (清华大学) 2008年 7月 9日 (2008 - 07 - 09) 全文	1-10	A	CN 104514987 A (清华大学) 2015年 4月 15日 (2015 - 04 - 15) 全文	1-10	A	CN 102798667 A (山东省科学院激光研究所) 2012年 11月 28日 (2012 - 11 - 28) 全文	1-10	A	CN 102798660 A (东北大学) 2012年 11月 28日 (2012 - 11 - 28) 全文	1-10
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																								
PX	CN 111579637 A (哈尔滨工业大学深圳哈尔滨工业大学深圳科技创新研究院) 2020年 8 月 25日 (2020 - 08 - 25) 说明书第[0008]-[0106]段	1-10																								
A	CN 110568059 A (哈尔滨工业大学深圳) 2019年 12月 13日 (2019 - 12 - 13) 说明书第[0007]-[0069]段	1-10																								
A	CN 111024807 A (哈尔滨工业大学深圳) 2020年 4月 17日 (2020 - 04 - 17) 全文	1-10																								
A	CN 101216460 A (清华大学) 2008年 7月 9日 (2008 - 07 - 09) 全文	1-10																								
A	CN 104514987 A (清华大学) 2015年 4月 15日 (2015 - 04 - 15) 全文	1-10																								
A	CN 102798667 A (山东省科学院激光研究所) 2012年 11月 28日 (2012 - 11 - 28) 全文	1-10																								
A	CN 102798660 A (东北大学) 2012年 11月 28日 (2012 - 11 - 28) 全文	1-10																								
☒ 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 2021年 5月 18日		国际检索报告邮寄日期 2021年 6月 1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 刘晶 电话号码 86-(10)-53962445																								

C. 相关文件		
类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	WO 2007012331 A2 (V&M DEUTSCHLAND GMBH 等) 2007年 2月 1日 (2007 - 02 - 01) 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/081320

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	111579637	A	2020年 8月 25日	无			
CN	110568059	A	2019年 12月 13日	无			
CN	111024807	A	2020年 4月 17日	无			
CN	101216460	A	2008年 7月 9日	CN	101216460	B	2011年 1月 26日
CN	104514987	A	2015年 4月 15日	US	2016178580	A1	2016年 6月 23日
				CN	104514987	B	2017年 2月 22日
CN	102798667	A	2012年 11月 28日	CN	102798667	B	2014年 8月 13日
CN	102798660	A	2012年 11月 28日	CN	102798660	B	2015年 11月 11日
WO	2007012331	A2	2007年 2月 1日	US	7783432	B2	2010年 8月 24日
				CA	2616897	C	2015年 6月 16日
				AR	054887	A1	2007年 7月 25日
				US	2008228412	A1	2008年 9月 18日
				CA	2616897	A1	2007年 2月 1日
				MX	2008001357	A	2008年 4月 16日
				EP	1910814	A2	2008年 4月 16日