



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104458895 A

(43) 申请公布日 2015. 03. 25

(21) 申请号 201410743400. 1

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2014. 12. 08

G01N 27/83(2006. 01)

(71) 申请人 清华大学

地址 100084 北京市海淀区 100084-82 信箱

申请人 中国石油化工股份有限公司胜利油

田分公司

中石化胜利石油工程有限公司钻井

工艺研究院

(72) 发明人 黄松岭 赵伟 王琄 孙焕泉

韩来聚 张士华 孙永泰

(74) 专利代理机构 北京清亦华知识产权代理事

务所(普通合伙) 11201

代理人 张大威

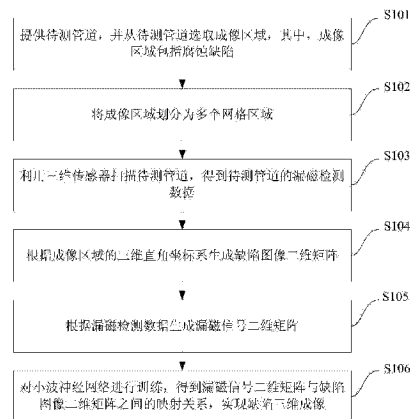
权利要求书3页 说明书12页 附图2页

(54) 发明名称

管道三维漏磁成像方法及系统

(57) 摘要

本发明提出一种管道三维漏磁成像检测方法,包括以下步骤:提供待测管道,并从待测管道选取成像区域,其中,成像区域包括腐蚀缺陷;将成像区域划分为多个网格区域;利用三维传感器扫描待测管道,得到待测管道的漏磁检测数据;根据成像区域的三维直角坐标系生成缺陷图像二维矩阵;根据漏磁检测数据生成漏磁信号二维矩阵;对小波神经网络进行训练,得到漏磁信号二维矩阵与缺陷图像二维矩阵之间的映射关系,实现缺陷三维成像。本发明的方法的信号特征来源丰富,且充分利用小波神经网络训练并行计算、速度快、映射准确的优势,有利于实现管道缺陷的三维成像及可视化。本发明还提供了一种管道三维漏磁成像检测系统。



1. 一种管道三维漏磁成像检测方法,其特征在于,包括以下步骤:
提供待测管道,并从所述待测管道选取成像区域,其中,所述成像区域包括腐蚀缺陷;
将所述成像区域划分为多个网格区域;
利用三维传感器扫描所述待测管道,得到所述待测管道的漏磁检测数据;
根据所述成像区域的三维直角坐标系生成缺陷图像二维矩阵;
根据所述漏磁检测数据生成漏磁信号二维矩阵;
对小波神经网络进行训练,得到所述漏磁信号二维矩阵与所述缺陷图像二维矩阵之间的映射关系,实现缺陷三维成像。
2. 根据权利要求1所述的管道三维漏磁成像检测方法,其特征在于,在利用三维传感器扫描所述待测管道之前,还包括:利用直流磁化场对所述待测管道的管壁进行饱和磁化处理。
3. 根据权利要求1所述的管道三维漏磁成像检测方法,其特征在于,所述利用三维传感器扫描所述待测管道,得到所述待测管道的漏磁检测数据,具体包括:
利用三维传感器扫描所述待测管道,得到所述待测管道的原始漏磁检测数据;
计算所述原始漏磁检测数据的平均值,并根据所述平均值得到异常阈值;
删除所述原始漏磁检测数据中大于所述异常阈值的漏磁检测数据,得到最终漏磁检测数据。
4. 根据权利要求1所述的管道三维漏磁成像检测方法,其特征在于,所述缺陷图像二维矩阵为:

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \cdots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix},$$

其中, x 表示缺陷长度位置在空间中的平面坐标, y 表示缺陷宽度位置在空间中的平面坐标, M 表示沿 x 方向采集的 M 个像素点, N 表示沿 y 方向采集的 N 个像素点。

5. 根据权利要求1-4任一项所述的管道三维漏磁成像检测方法,其特征在于,所述漏磁检测数据包括:轴向漏磁检测数据、径向漏磁检测数据和周向漏磁检测数据,所述漏磁信号矩阵包括:轴向漏磁信号矩阵、径向漏磁信号矩阵和周向漏磁信号矩阵,其中,所述轴向漏磁信号矩阵、径向漏磁信号矩阵和周向漏磁信号矩阵分别为:

$$B_a = \begin{bmatrix} B_{a11} & B_{a12} & \cdots & B_{a1k} \\ B_{a21} & B_{a22} & \cdots & B_{a2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ B_{aJ1} & B_{aJ2} & \cdots & B_{aJK} \end{bmatrix},$$

$$B_r = \begin{bmatrix} B_{r11} & B_{r12} & \cdots & B_{r1k} \\ B_{r21} & B_{r22} & \cdots & B_{r2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ B_{rJ1} & B_{rJ2} & \cdots & B_{rJK} \end{bmatrix},$$

$$B_e = \begin{bmatrix} B_{e11} & B_{e12} & \cdots & B_{e1k} \\ B_{e21} & B_{e22} & \cdots & B_{e2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ B_{eJ1} & B_{eJ2} & \cdots & B_{eJK} \end{bmatrix},$$

其中, B_a 表示轴向漏磁信号矩阵, B_r 表示径向漏磁信号矩阵, B_c 表示周向漏磁信号矩阵, J 表示长度方向的测量数, K 表示宽度方向的测量数。

6. 一种管道三维漏磁成像检测系统, 其特征在于, 包括:

选取模块, 所述选取模块用于从待测管道选取成像区域, 其中, 所述成像区域包括腐蚀缺陷;

划分模块, 所述划分模块用于将所述成像区域划分为多个网格区域;

扫描模块, 所述扫描模块用于利用三维传感器扫描所述待测管道, 得到所述待测管道的漏磁检测数据;

生成模块, 所述生成模块用于根据所述成像区域的三维直角坐标系生成缺陷图像二维矩阵, 并根据所述漏磁检测数据生成漏磁信号二维矩阵;

训练模块, 所述训练模块用于对小波神经网络进行训练, 得到所述漏磁信号二维矩阵与所述缺陷图像二维矩阵之间的映射关系, 实现缺陷三维成像。

7. 根据权利要求 6 所述的管道三维漏磁成像检测系统, 其特征在于, 在利用三维传感器扫描所述待测管道之前, 所述扫描模块还用于利用直流磁化场对所述待测管道的管壁进行饱和磁化处理。

8. 根据权利要求 6 所述的管道三维漏磁成像检测系统, 其特征在于, 所述扫描模块利用三维传感器扫描所述待测管道, 得到所述待测管道的漏磁检测数据, 具体包括:

利用三维传感器扫描所述待测管道, 得到所述待测管道的原始漏磁检测数据;

计算所述原始漏磁检测数据的平均值, 并根据所述平均值得到异常阈值;

删除所述原始漏磁检测数据中大于所述异常阈值的漏磁检测数据, 得到最终漏磁检测数据。

9. 根据权利要求 6 所述的管道三维漏磁成像检测系统, 其特征在于, 所述缺陷图像二维矩阵为:

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \cdots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix},$$

其中, x 表示缺陷长度位置在空间中的平面坐标, y 表示缺陷宽度位置在空间中的平面坐标, M 表示沿 x 方向采集的 M 个像素点, N 表示沿 y 方向采集的 N 个像素点。

10. 根据权利要求 6-9 任一项所述的管道三维漏磁成像检测系统, 其特征在于, 所述漏磁检测数据包括: 轴向漏磁检测数据、径向漏磁检测数据和周向漏磁检测数据, 所述漏磁信号矩阵包括: 轴向漏磁信号矩阵、径向漏磁信号矩阵和周向漏磁信号矩阵, 其中, 所述轴向漏磁信号矩阵、径向漏磁信号矩阵和周向漏磁信号矩阵分别为:

$$B_a = \begin{bmatrix} B_{a11} & B_{a12} & \cdots & B_{a1k} \\ B_{a21} & B_{a22} & \cdots & B_{a2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ B_{aJ1} & B_{aJ2} & \cdots & B_{aJK} \end{bmatrix},$$

$$B_r = \begin{bmatrix} B_{r11} & B_{r12} & \cdots & B_{r1k} \\ B_{r21} & B_{r22} & \cdots & B_{r2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ B_{rJ1} & B_{rJ2} & \cdots & B_{rJK} \end{bmatrix},$$

$$B_c = \begin{bmatrix} B_{c11} & B_{c12} & \cdots & B_{c1k} \\ B_{c21} & B_{c22} & \cdots & B_{c2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ B_{cJ1} & B_{cJ2} & \cdots & B_{cJK} \end{bmatrix},$$

其中, B_a 表示轴向漏磁信号矩阵, B_r 表示径向漏磁信号矩阵, B_c 表示周向漏磁信号矩阵, J 表示长度方向的测量数, K 表示宽度方向的测量数。

管道三维漏磁成像检测方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及无损检测技术领域,特别涉及一种管道三维漏磁成像检测方法及系统。

背景技术

[0002] 漏磁检测是较常用的无损检测方法,在铁磁性材料质量检测和安全监测方面有广泛应用。近年来,随着缺陷量化技术的不断进步与提高,人们希望可以将管道腐蚀缺陷分布情况转化为肉眼可直接识别的图形和图像形式,并在屏幕上呈现出来以实现缺陷可视化。目前,相关技术提出了一种漏磁检测腐蚀缺陷的量化方法,该技术涉及一种腐蚀缺陷漏磁检测数据分析处理方法,利用检测到的漏磁场分布特征,根据事先由标准人工缺陷测量建立的拟合量化模型实现对腐蚀缺陷三个方向尺寸的量化,但该技术只对缺陷三维参数作了量化,并未反演成像。目前还有一种磁声成像和漏磁成像的复合无损检测方法,该技术在漏磁检测原理和超声检测原理结合的基础上,将漏磁成像图和磁声成像图同时送入计算机并进行与和异或运算融合,从而实现了对缺陷所在内外层次准确定位,但该技术重点在于区分缺陷具体位于待测钢板的哪个表面,并未对缺陷成像本身做更多的说明。

发明内容

[0003] 本发明旨在至少在一定程度上解决上述相关技术中的技术问题之一。

[0004] 为此,本发明的一个目的在于提出一种管道三维漏磁成像检测方法,该方法的信号特征来源丰富,且充分利用小波神经网络训练并行计算、速度快、映射准确的优势,有利于实现管道缺陷的三维成像及可视化。

[0005] 本发明的另一个目的在于提供一种管道三维漏磁成像检测系统。

[0006] 为了实现上述目的,本发明第一方面的实施例提出了一种管道三维漏磁成像检测方法,包括以下步骤:提供待测管道,并从所述待测管道选取成像区域,其中,所述成像区域包括腐蚀缺陷;将所述成像区域划分为多个网格区域;利用三维传感器扫描所述待测管道,得到所述待测管道的漏磁检测数据;根据所述成像区域的三维直角坐标系生成缺陷图像二维矩阵;根据所述漏磁检测数据生成漏磁信号二维矩阵;对小波神经网络进行训练,得到所述漏磁信号二维矩阵与所述缺陷图像二维矩阵之间的映射关系,实现缺陷三维成像。

[0007] 根据本发明实施例的管道三维漏磁成像检测方法,先将管道缺陷平面成像空间离散化,划分成多个小网格,每个小网格对应一个像素点,然后利用三维传感器阵列扫描管道并采集漏磁检测数据,再建立一个三维直角坐标系,同时定义缺陷图像二维矩阵与漏磁信号二维矩阵,矩阵各元素之间相互对应,最后利用经过训练的小波神经网络完成漏磁信号矩阵到缺陷图像矩阵的映射,从而实现缺陷的三维轮廓重构。因此,该方法采用三维传感器阵列获取数据,信号特征来源丰富,突破了传统技术仅以轴向漏磁检测信号特征作为评价的缺点,同时,又充分利用小波神经网络训练并行计算、速度快、映射准确的优势,有利于实

现管道缺陷的三维成像及可视化,具有广阔的应用前景。

[0008] 另外,根据本发明上述实施例的管道三维漏磁成像检测方法还可以具有如下附加的技术特征:

[0009] 在一些示例中,在利用三维传感器扫描所述待测管道之前,还包括:利用直流磁化场对所述待测管道的管壁进行饱和磁化处理。

[0010] 在一些示例中,所述利用三维传感器扫描所述待测管道,得到所述待测管道的漏磁检测数据,具体包括:利用三维传感器扫描所述待测管道,得到所述待测管道的原始漏磁检测数据;计算所述原始漏磁检测数据的平均值,并根据所述平均值得到异常阈值;删除所述原始漏磁检测数据中大于所述异常阈值的漏磁检测数据,得到最终漏磁检测数据。

[0011] 在一些示例中,所述缺陷图像二维矩阵为:

$$[0012] \quad f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \cdots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix},$$

[0013] 其中,x表示缺陷长度位置在空间中的平面坐标,y表示缺陷宽度位置在空间中的平面坐标,M表示沿x方向采集的M个像素点,N表示沿y方向采集的N个像素点。

[0014] 在一些示例中,所述漏磁检测数据包括:轴向漏磁检测数据、径向漏磁检测数据和周向漏磁检测数据,所述漏磁信号矩阵包括:轴向漏磁信号矩阵、径向漏磁信号矩阵和周向漏磁信号矩阵,其中,所述轴向漏磁信号矩阵、径向漏磁信号矩阵和周向漏磁信号矩阵分别为:

$$[0015] \quad B_a = \begin{bmatrix} B_{a11} & B_{a12} & \cdots & B_{a1k} \\ B_{a21} & B_{a22} & \cdots & B_{a2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ B_{aJ1} & B_{aJ2} & \cdots & B_{aJK} \end{bmatrix},$$

$$[0016] \quad B_r = \begin{bmatrix} B_{r11} & B_{r12} & \cdots & B_{r1k} \\ B_{r21} & B_{r22} & \cdots & B_{r2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ B_{rJ1} & B_{rJ2} & \cdots & B_{rJK} \end{bmatrix},$$

$$[0017] \quad B_c = \begin{bmatrix} B_{c11} & B_{c12} & \cdots & B_{c1k} \\ B_{c21} & B_{c22} & \cdots & B_{c2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ B_{cJ1} & B_{cJ2} & \cdots & B_{cJK} \end{bmatrix},$$

[0018] 其中, B_a 表示轴向漏磁信号矩阵, B_r 表示径向漏磁信号矩阵, B_c 表示周向漏磁信号矩阵,J表示长度方向的测量数,K表示宽度方向的测量数。

[0019] 本发明第二方面的实施例提供了一种管道三维漏磁成像检测系统,包括:选取模块,所述选取模块用于从待测管道选取成像区域,其中,所述成像区域包括腐蚀缺陷;划分

模块,所述划分模块用于将所述成像区域划分为多个网格区域;扫描模块,所述扫描模块用于利用三维传感器扫描所述待测管道,得到所述待测管道的漏磁检测数据;生成模块,所述生成模块用于根据所述成像区域的三维直角坐标系生成缺陷图像二维矩阵,并根据所述漏磁检测数据生成漏磁信号二维矩阵;训练模块,所述训练模块用于对小波神经网络进行训练,得到所述漏磁信号二维矩阵与所述缺陷图像二维矩阵之间的映射关系,实现缺陷三维成像。

[0020] 根据本发明实施例的管道三维漏磁成像检测系统,先将管道缺陷平面成像空间离散化,划分成多个小网格,每个小网格对应一个像素点,然后利用三维传感器阵列扫描管道并采集漏磁检测数据,再建立一个三维直角坐标系,同时定义缺陷图像二维矩阵与漏磁信号二维矩阵,矩阵各元素之间相互对应,最后利用经过训练的小波神经网络完成漏磁信号矩阵到缺陷图像矩阵的映射,从而实现缺陷的三维轮廓重构。因此,该系统采用三维传感器阵列获取数据,信号特征来源丰富,突破了传统技术仅以轴向漏磁检测信号特征作为评价的缺点,同时,又充分利用小波神经网络训练并行计算、速度快、映射准确的优势,有利于实现管道缺陷的三维成像及可视化,具有广阔的应用前景。

[0021] 另外,根据本发明上述实施例的管道三维漏磁成像检测系统还可以具有如下附加的技术特征:

[0022] 在一些示例中,在利用三维传感器扫描所述待测管道之前,所述扫描模块还用于利用直流磁化场对所述待测管道的管壁进行饱和磁化处理。

[0023] 在一些示例中,所述扫描模块利用三维传感器扫描所述待测管道,得到所述待测管道的漏磁检测数据,具体包括:利用三维传感器扫描所述待测管道,得到所述待测管道的原始漏磁检测数据;计算所述原始漏磁检测数据的平均值,并根据所述平均值得到异常阈值;删除所述原始漏磁检测数据中大于所述异常阈值的漏磁检测数据,得到最终漏磁检测数据。

[0024] 在一些示例中,所述缺陷图像二维矩阵为:

$$[0025] \quad f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \cdots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix},$$

[0026] 其中, x 表示缺陷长度位置在空间中的平面坐标, y 表示缺陷宽度位置在空间中的平面坐标, M 表示沿 x 方向采集的 M 个像素点, N 表示沿 y 方向采集的 N 个像素点。

[0027] 在一些示例中,所述漏磁检测数据包括:轴向漏磁检测数据、径向漏磁检测数据和周向漏磁检测数据,所述漏磁信号矩阵包括:轴向漏磁信号矩阵、径向漏磁信号矩阵和周向漏磁信号矩阵,其中,所述轴向漏磁信号矩阵、径向漏磁信号矩阵和周向漏磁信号矩阵分别为:

$$[0028] \quad B_a = \begin{bmatrix} B_{a11} & B_{a12} & \cdots & B_{a1k} \\ B_{a21} & B_{a22} & \cdots & B_{a2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ B_{aJ1} & B_{aJ2} & \cdots & B_{aJK} \end{bmatrix},$$

$$[0029] \quad B_r = \begin{bmatrix} B_{r11} & B_{r12} & \cdots & B_{r1k} \\ B_{r21} & B_{r22} & \cdots & B_{r2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ B_{rJ1} & B_{rJ2} & \cdots & B_{rJK} \end{bmatrix},$$

$$[0030] \quad B_c = \begin{bmatrix} B_{c11} & B_{c12} & \cdots & B_{c1k} \\ B_{c21} & B_{c22} & \cdots & B_{c2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ B_{cJ1} & B_{cJ2} & \cdots & B_{cJK} \end{bmatrix},$$

[0031] 其中, B_a 表示轴向漏磁信号矩阵, B_r 表示径向漏磁信号矩阵, B_c 表示周向漏磁信号矩阵, J 表示长度方向的测量数, K 表示宽度方向的测量数。

[0032] 本发明的附加方面和优点将在下面的描述中部分给出, 部分将从下面的描述中变得明显, 或通过本发明的实践了解到。

附图说明

[0033] 本发明的上述和 / 或附加的方面和优点从结合下面附图对实施例的描述中将变得明显和容易理解, 其中:

[0034] 图 1 是根据本发明一个实施例的管道三维漏磁成像检测方法的流程图;

[0035] 图 2 是根据本发明另一个实施例的管道三维漏磁成像检测方法的流程图;

[0036] 图 3 是根据本发明一个实施例的管道三维漏磁成像检测方法的小波神经网络的结构示意图;

[0037] 图 4 是根据本发明一个实施例的管道三维漏磁成像检测系统的结构框图。

具体实施方式

[0038] 下面详细描述本发明的实施例, 所述实施例的示例在附图中示出, 其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的, 仅用于解释本发明, 而不能理解为对本发明的限制。

[0039] 以下结合附图描述根据本发明实施例的基于宇宙线的材料形变的检测方法及系统。

[0040] 图 1 是根据本发明一个实施例的管道三维漏磁成像检测方法的流程图, 图 2 是根据本发明另一个实施例的管道三维漏磁成像检测方法的流程图。结合图 1 和图 2, 该方法包括以下步骤:

[0041] 步骤 S101, 提供待测管道, 并从待测管道选取成像区域, 其中, 成像区域包括腐蚀缺陷。

[0042] 步骤 S102, 将成像区域划分为多个网格区域。

[0043] 在具体示例中, 例如选取壁厚为 T 的待测管道, 选择一块面积为 $A \times B$ 的区域作为成像区域进行实验。在此区域内加工一个长度为 $2.5T$ 、宽度为 $1.5T$ 、深度为 $0.1 \sim 1T$ 的标准人工腐蚀缺陷。然后将该成像区域划分成 $M \times N$ 个小网格 ($M \times N$ 个像素点), 即缺陷长度和宽度分别离散为 M 和 N 个点, 从而确定长度方向采样间隔 $S1 = A/M$, 宽度方向采样间隔

$S2 = B/N$, 每个像素点所占面积为 $S1 \times S2$ 。缺陷边界自然圆弧过渡, 管道壁厚 T 为 $7.0 \sim 36.0\text{mm}$ 。

[0044] 步骤 S103, 利用三维传感器扫描待测管道, 得到待测管道的漏磁检测数据。

[0045] 在本发明的一个实施例中, 在该步骤之前, 也即在利用三维传感器扫描待测管道之前, 首先利用直流磁化场对待测管道的管壁进行饱和磁化处理。

[0046] 进一步地, 步骤 S103 具体包括:

[0047] 步骤 1: 利用三维传感器扫描待测管道, 得到待测管道的原始漏磁检测数据。

[0048] 在具体示例中, 换言之, 即首先用直流磁化场对管壁进行饱和磁化, 然后三维传感器阵列在管道内以一定的运行速度等间距采样, 传感器提离值需保持在 $1.0 \sim 5.0\text{mm}$ 之间, 得到检测管道内标准缺陷沿管道轴向、径向和周向的漏磁检测数据。其中, 传感器提离值是指霍尔传感器距离管道内壁表面距离, 采样间距 d 为 $0.1 \sim 8.0\text{mm}$, 运行速度 V 为 $0.1 \sim 5.0\text{m/s}$ 。

[0049] 步骤 2: 计算原始漏磁检测数据的平均值, 并根据平均值得到异常阈值。

[0050] 在具体示例中, 换言之, 即对上述步骤 1 中得到的离散三维漏磁检测数据取平均值, 并以平均值的 $1.2 \sim 1.5$ 倍作为异常阈值。

[0051] 步骤 3: 删除原始漏磁检测数据中大于异常阈值的漏磁检测数据, 得到最终漏磁检测数据。换言之, 即根据上述步骤 2 中得到的异常阈值对所采集的数据进行提取过滤, 大于异常阈值的数据予以删除, 从而排除一些明显错误数据和异常数据。

[0052] 步骤 S104, 根据成像区域的三维直角坐标系生成缺陷图像二维矩阵。

[0053] 在具体示例中, 首先在成像区域建立一个三维直角坐标系, 然后定义缺陷图像二维矩阵 $f(x, y)$ 。其中 x 表示缺陷长度位置在空间中的平面坐标, y 表示缺陷宽度位置在空间中的平面坐标, $f(x, y)$ 则表示缺陷深度位置在空间中的平面坐标, 即每一个长度 x , 宽度 y 都对应着一个确定的深度 $f(x, y)$ 。根据步骤 S102 所述, 沿 x 方向采集 M 个像素点, 沿 y 方向采集 N 个像素点, 可得到一幅有 M 行和 N 列的图像, 相应的缺陷图像二维矩阵可表示为:

$$[0054] \quad f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \cdots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix},$$

[0055] 其中, 矩阵中每个元素都对应步骤 S102 中的一个像素, 元素值代表缺陷深度。

[0056] 步骤 S105, 根据漏磁检测数据生成漏磁信号二维矩阵。

[0057] 具体而言, 上述步骤 S103 中得到的漏磁检测数据例如包括: 轴向漏磁检测数据、径向漏磁检测数据和周向漏磁检测数据。漏磁信号矩阵例如包括: 轴向漏磁信号矩阵、径向漏磁信号矩阵和周向漏磁信号矩阵, 其中, 轴向漏磁信号矩阵、径向漏磁信号矩阵和周向漏磁信号矩阵分别为:

$$[0058] \quad B_a = \begin{bmatrix} B_{a11} & B_{a12} & \cdots & B_{a1k} \\ B_{a21} & B_{a22} & \cdots & B_{a2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ B_{aJ1} & B_{aJ2} & \cdots & B_{aJK} \end{bmatrix},$$

$$[0059] \quad B_r = \begin{bmatrix} B_{r11} & B_{r12} & \cdots & B_{r1k} \\ B_{r21} & B_{r22} & \cdots & B_{r2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ B_{rJ1} & B_{rJ2} & \cdots & B_{rJK} \end{bmatrix},$$

$$[0060] \quad B_c = \begin{bmatrix} B_{c11} & B_{c12} & \cdots & B_{c1k} \\ B_{c21} & B_{c22} & \cdots & B_{c2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ B_{cJ1} & B_{cJ2} & \cdots & B_{cJK} \end{bmatrix},$$

[0061] 上述的矩阵元素值依次代表轴向、径向和周向漏磁信号测量值。

[0062] 其中, B_a 表示轴向漏磁信号矩阵, B_r 表示径向漏磁信号矩阵, B_c 表示周向漏磁信号矩阵, J 表示长度方向的测量数, K 表示宽度方向的测量数。

[0063] 其中, 缺陷长度由径向漏磁信号评价, 缺陷宽度由周向漏磁信号评价, 缺陷深度则由轴向漏磁信号和径向漏磁信号综合评价。

[0064] 步骤 S106, 对小波神经网络进行训练, 得到漏磁信号二维矩阵与缺陷图像二维矩阵之间的映射关系, 实现缺陷三维成像。

[0065] 在具体示例中, 结合图 3 所示, 小波神经网络输出 $y(x) \in L^2(R)$ 为:

[0066]

$$y(x) = \sum_{i=1}^N w_i \varphi[D_i R_i(x-t_i)] + \bar{y},$$

[0067]

$$\varphi(x) = \varphi^1(x_1) \varphi^1(x_2) \varphi^1 \dots (x_n),$$

[0068] $\forall x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in R^n,$

[0069] $t_i \in R^n, D_i = \text{diag}(d_i), d_i \in R_+, w_i \in R^n,$

[0070] 其中, w_i 为网络的连接权, \bar{y} 为逼近函数的均值, t_i 为平移矢量, D_i 为伸缩矢量, R_i 为旋转矩阵, $\varphi(x)$ 为由 φ^1 构成的多维小波函数。可见, $x \rightarrow y(x)$ 实现了 $R^n \rightarrow R$ 的映射。

[0071] 进一步地, 选取三组 (共计 48 个) 不同缺陷的测量数据对该神经网络进行训练, 第一组是宽为 2.5T, 深为 0.25T, 长度依次为 0.5T, 1T, \dots , 8T 的 16 个变长缺陷; 第二组是长为 2.5T, 深为 0.25T, 宽度依次为 0.5T, 1T, \dots , 8T 的 16 个变宽缺陷; 第三组是长为 2.5T, 宽为 2.5T, 深度依次为 0.05T, 0.1T, \dots , 0.8T 的 16 个变深缺陷。选取的小波函数例如为墨西哥草帽函数, 定义网络收敛时所需要的目标误差为 10^{-5} , 使用梯度下降法进行训练直至训练完成。

[0072] 利用训练好的网络对缺陷进行成像实验, 以步骤 S103 中获得的漏磁检测数据作为实验样本, 网络的输入为漏磁信号矩阵 B_a 、 B_r 和 B_c , 输入节点数为 $J \times K$; 输出为缺陷图像矩阵 $f(x, y)$, 输出节点为 $M \times N$ 个。由于小波神经网络本身具有非线性映射、逼近精确、快速收敛等特点, 可将漏磁信号矩阵 B_a 、 B_r 和 B_c 映射为缺陷图像矩阵 $f(x, y)$, 从而实现缺陷三维

成像。

[0073] 为了便于理解,以下结合图 2 和图 3 以一个具体地例子来对本发明上述实施例的管道三维漏磁成像检测方法进行具体描述。在该例子中,结合图 2 和图 3,该方法包括以下步骤:

[0074] 步骤 10:选取壁厚为 12mm 的待测管道,选择一块面积为 40mm×30mm 的区域作为成像区域进行实验,在此区域内加工一个长度为 32mm、宽度为 20mm,深度为 8mm 的标准人工腐蚀缺陷。然后将该成像区域划分成 200×150 个小网格(200×150 个像素点),即缺陷长度和宽度分别离散为 200 和 150 个点,从而确定长度方向采样间隔 $S1 = 40/200 = 0.2\text{mm}$,宽度方向采样间隔 $S2 = 30/150 = 0.2\text{mm}$,每个像素点所占面积为 $0.2 \times 0.2 = 0.04\text{mm}^2$ 。缺陷边界自然圆弧过渡。

[0075] 步骤 20:用直流磁化场对管壁进行饱和磁化,三维传感器阵列在管道内以 0.25m/s 的运行速度等间距采样,传感器提离值为 2.0mm,得到检测管道内标准缺陷沿管道轴向、径向和周向的漏磁检测数据,轴向和周向采样间距 d 均为 0.2mm。

[0076] 步骤 30:对步骤 20 中采集得到的所有离散三维漏磁检测数据取平均值,以平均值的 1.2 倍作为异常阈值对所采数据进行提取过滤,以排除一些明显错误数据和异常数据。

[0077] 步骤 40:在成像区域建立一个三维直角坐标系,然后定义缺陷图像二维矩阵 $f(x, y)$,其中 x 表示缺陷长度位置在空间中的平面坐标, y 表示缺陷宽度位置在空间中的平面坐标, $f(x, y)$ 则表示缺陷深度位置在空间中的平面坐标,即每一个长度 x ,宽度 y 都对应着一个确定的深度 $f(x, y)$ 。根据步骤 1 所述,沿 x 方向采集 200 个点,沿 y 方向采集 150 个点,可得到一幅有 200 行和 150 列的图像,相应的缺陷图像二维矩阵可表示为:

$$[0078] \quad f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,149) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,149) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(199,0) & f(199,1) & \cdots & f(199,149) \end{bmatrix},$$

[0079] 其中,矩阵中每个元素都对应步骤 10 所述的一个像素,元素值代表缺陷深度。

[0080] 步骤 50:确定漏磁信号二维矩阵。具体地,由步骤 30 中得到的三维漏磁检测信号可分为轴向漏磁信号、径向漏磁信号和周向漏磁信号。其中,缺陷长度由径向漏磁信号评价,缺陷宽度由周向漏磁信号评价,缺陷深度则由轴向漏磁信号和径向漏磁信号综合评价。长度方向的测量数选择 200,宽度方向的测量数选择 150,则相应的三个二维矩阵表示如下:

$$[0081] \quad B_a = \begin{bmatrix} B_{a1,1} & B_{a1,2} & \cdots & B_{a1,150} \\ B_{a2,1} & B_{a2,2} & \cdots & B_{a2,150} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ B_{a200,1} & B_{a200,2} & \cdots & B_{a200,150} \end{bmatrix},$$

$$[0082] \quad B_r = \begin{bmatrix} B_{r1,1} & B_{r1,2} & \cdots & B_{r1,150} \\ B_{r2,1} & B_{r2,2} & \cdots & B_{r2,150} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ B_{r200,1} & B_{r200,2} & \cdots & B_{r200,150} \end{bmatrix},$$

$$[0083] \quad B_c = \begin{bmatrix} B_{c1,1} & B_{c1,2} & \cdots & B_{c1,150} \\ B_{c2,1} & B_{c2,2} & \cdots & B_{c2,150} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ B_{c200,1} & B_{c200,2} & \cdots & B_{c200,150} \end{bmatrix},$$

[0084] 其中,上述得到的矩阵元素值依次代表轴向、径向和周向漏磁信号测量值。

[0085] 步骤 60:采用小波神经网络实现漏磁信号矩阵到缺陷图像矩阵的映射。具体地,结合图 3 所示,小波神经网络输出 $y(x) \in L^2(\mathbb{R})$ 为:

[0086]

$$y(x) = \sum_{i=1}^N w_i \varphi[D_i R_i(x-t_i)] + \bar{y},$$

[0087]

$$\varphi(x) = \varphi^1(x_1)\varphi^1(x_2)\varphi^1 \cdots (x_n),$$

[0088] $\forall x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n$,

[0089] $t_i \in \mathbb{R}^n, D_i = \text{diag}(d_i), d_i \in \mathbb{R}_+^n, w_i \in \mathbb{R}^n$,

[0090] 其中, w_i 为网络的连接权, \bar{y} 为逼近函数的均值, t_i 为平移矢量, D_i 为伸缩矢量,

R_i 为旋转矩阵, $\varphi(x)$ 为由 φ^1 构成的多维小波函数。可见, $x \rightarrow y(x)$ 实现了 $\mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ 的映射。

[0091] 然后选取三组(共计 48 个)不同缺陷的测量数据对该神经网络进行训练,第一组是宽为 30mm,深为 3mm,长度依次为 6mm,12mm, ..., 96mm 的 16 个变长缺陷;第二组是长为 30mm,深为 3mm,宽度依次为 6mm,12mm, ..., 96mm 的 16 个变宽缺陷;第三组是长为 30mm,宽为 30mm,深度依次为 0.6mm,1.2mm, ..., 9.6mm 的 16 个变深缺陷。选取的小波函数例如为墨西哥草帽函数,采用梯度下降法进行训练,定义网络收敛时所需要的目标误差为 10^{-5} ,经过 1182 次迭代后,网络收敛。

[0092] 利用训练好的网络对缺陷进行成像实验,以步骤 30 获得的漏磁检测数据作为实验样本,网络的输入为漏磁信号矩阵 B_a 、 B_r 和 B_c ,输入节点数为 $200 \times 150 = 30000$ 个;输出为缺陷图像矩阵 $f(x, y)$,输出节点为 $200 \times 150 = 30000$ 个。由于小波神经网络本身具有非线性映射、逼近精确、快速收敛等特点,可将漏磁信号矩阵 B_a 、 B_r 和 B_c 映射为缺陷图像矩阵 $f(x, y)$,从而实现缺陷三维成像。进一步地,经过反演检测数据计算得到的缺陷长度为 30.2mm、宽度为 21.5mm、深度为 7.4mm,缺陷边界圆弧过渡自然,与实际缺陷吻合程度较好,因此具有较高的成像精度。

[0093] 综上,根据本发明实施例的管道三维漏磁成像检测方法,先将管道缺陷平面成像空间离散化,划分成多个小网格,每个小网格对应一个像素点,然后利用三维传感器阵列扫

描管道并采集漏磁检测数据,再建立一个三维直角坐标系,同时定义缺陷图像二维矩阵与漏磁信号二维矩阵,矩阵各元素之间相互对应,最后利用经过训练的小波神经网络完成漏磁信号矩阵到缺陷图像矩阵的映射,从而实现缺陷的三维轮廓重构。因此,该方法采用三维传感器阵列获取数据,信号特征来源丰富,突破了传统技术仅以轴向漏磁检测信号特征作为评价的缺点,同时,又充分利用小波神经网络训练并行计算、速度快、映射准确的优势,有利于实现管道缺陷的三维成像及可视化,具有广阔的应用前景。

[0094] 本发明的进一步实施例还提供了一种管道三维漏磁成像检测系统。

[0095] 图4为根据本发明一个实施例的管道三维漏磁成像检测系统的结构框图。如图4所示,该系统400包括:选取模块410、划分模块420、扫描模块430、生成模块440和训练模块450。

[0096] 具体地,选取模块410用于从待测管道选取成像区域,其中,成像区域包括腐蚀缺陷。划分模块420用于将成像区域划分为多个网格区域。

[0097] 在具体示例中,例如选取壁厚为 T 的待测管道,选择一块面积为 $A \times B$ 的区域作为成像区域进行实验。在此区域内加工一个长度为 $2.5T$ 、宽度为 $1.5T$ 、深度为 $0.1 \sim 1T$ 的标准人工腐蚀缺陷。然后将该成像区域划分成 $M \times N$ 个小网格($M \times N$ 个像素点),即缺陷长度和宽度分别离散为 M 和 N 个点,从而确定长度方向采样间隔 $S1 = A/M$,宽度方向采样间隔 $S2 = B/N$,每个像素点所占面积为 $S1 \times S2$ 。缺陷边界自然圆弧过渡,管道壁厚 T 为 $7.0 \sim 36.0\text{mm}$ 。

[0098] 扫描模块430用于利用三维传感器扫描待测管道,得到待测管道的漏磁检测数据。

[0099] 在本发明的一个实施例中,在利用三维传感器扫描待测管道之前,扫描模块430首先利用直流磁化场对待测管道的管壁进行饱和磁化处理。

[0100] 进一步地,扫描模块430利用三维传感器扫描待测管道,得到待测管道的漏磁检测数据,具体包括:

[0101] 步骤1:利用三维传感器扫描待测管道,得到待测管道的原始漏磁检测数据。

[0102] 在具体示例中,换言之,即首先用直流磁化场对管壁进行饱和磁化,然后三维传感器阵列在管道内以一定的运行速度等间距采样,传感器提离值需保持在 $1.0 \sim 5.0\text{mm}$ 之间,得到检测管道内标准缺陷沿管道轴向、径向和周向的漏磁检测数据。其中,传感器提离值是指霍尔传感器距离管道内壁表面距离,采样间距 d 为 $0.1 \sim 8.0\text{mm}$,运行速度 V 为 $0.1 \sim 5.0\text{m/s}$ 。

[0103] 步骤2:计算原始漏磁检测数据的平均值,并根据平均值得到异常阈值。

[0104] 在具体示例中,换言之,即对上述步骤1中得到的离散三维漏磁检测数据取平均值,并以平均值的 $1.2 \sim 1.5$ 倍作为异常阈值。

[0105] 步骤3:删除原始漏磁检测数据中大于异常阈值的漏磁检测数据,得到最终漏磁检测数据。换言之,即根据上述步骤2中得到的异常阈值对所采集的数据进行提取过滤,大于异常阈值的数据予以删除,从而排除一些明显错误数据和异常数据。

[0106] 生成模块440用于根据成像区域的三维直角坐标系生成缺陷图像二维矩阵,并根据漏磁检测数据生成漏磁信号二维矩阵。

[0107] 在具体示例中,首先在成像区域建立一个三维直角坐标系,然后定义缺陷图像二

维矩阵 $f(x, y)$ 。其中 x 表示缺陷长度位置在空间中的平面坐标, y 表示缺陷宽度位置在空间中的平面坐标, $f(x, y)$ 则表示缺陷深度位置在空间中的平面坐标, 即每一个长度 x , 宽度 y 都对应着一个确定的深度 $f(x, y)$ 。根据步骤 S102 所述, 沿 x 方向采集 M 个像素点, 沿 y 方向采集 N 个像素点, 可得到一幅有 M 行和 N 列的图像, 相应的缺陷图像二维矩阵可表示为:

$$[0108] \quad f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \cdots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix},$$

[0109] 其中, 矩阵中每个元素都对应步骤 S102 中的一个像素, 元素值代表缺陷深度。

[0110] 在一些示例中, 上述得到的漏磁检测数据例如包括: 轴向漏磁检测数据、径向漏磁检测数据和周向漏磁检测数据。漏磁信号矩阵例如包括: 轴向漏磁信号矩阵、径向漏磁信号矩阵和周向漏磁信号矩阵, 其中, 轴向漏磁信号矩阵、径向漏磁信号矩阵和周向漏磁信号矩阵分别为:

$$[0111] \quad B_a = \begin{bmatrix} B_{a11} & B_{a12} & \cdots & B_{a1k} \\ B_{a21} & B_{a22} & \cdots & B_{a2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ B_{aJ1} & B_{aJ2} & \cdots & B_{aJK} \end{bmatrix},$$

$$[0112] \quad B_r = \begin{bmatrix} B_{r11} & B_{r12} & \cdots & B_{r1k} \\ B_{r21} & B_{r22} & \cdots & B_{r2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ B_{rJ1} & B_{rJ2} & \cdots & B_{rJK} \end{bmatrix},$$

$$[0113] \quad B_c = \begin{bmatrix} B_{c11} & B_{c12} & \cdots & B_{c1k} \\ B_{c21} & B_{c22} & \cdots & B_{c2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ B_{cJ1} & B_{cJ2} & \cdots & B_{cJK} \end{bmatrix},$$

[0114] 上述的矩阵元素值依次代表轴向、径向和周向漏磁信号测量值。

[0115] 其中, B_a 表示轴向漏磁信号矩阵, B_r 表示径向漏磁信号矩阵, B_c 表示周向漏磁信号矩阵, J 表示长度方向的测量数, K 表示宽度方向的测量数。

[0116] 其中, 缺陷长度由径向漏磁信号评价, 缺陷宽度由周向漏磁信号评价, 缺陷深度则由轴向漏磁信号和径向漏磁信号综合评价。

[0117] 训练模块 450 用于对小波神经网络进行训练, 得到漏磁信号二维矩阵与缺陷图像二维矩阵之间的映射关系, 实现缺陷三维成像。

[0118] 在具体示例中, 结合图 3 所示, 小波神经网络输出 $y(x) \in L^2(\mathbb{R})$ 为:

[0119]

$$y(x) = \sum_{i=1}^N w_i \phi[D_i R_i(x - t_i)] + \bar{y},$$

[0120]

$$\varphi(x) = \varphi^1(x_1)\varphi^1(x_2)\varphi^1 \dots (x_n),$$

[0121] $\forall x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n,$ [0122] $t_i \in \mathbb{R}^n, D_i = \text{diag}(d_i), d_i \in \mathbb{R}_+, w_i \in \mathbb{R}^n,$

[0123] 其中, w_i 为网络的连接权, \bar{y} 为逼近函数的均值, t_i 为平移矢量, D_i 为伸缩矢量, R_i 为旋转矩阵, $\varphi(x)$ 为由 φ^1 构成的多维小波函数。可见, $x \rightarrow y(x)$ 实现了 $\mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ 的映射。

[0124] 进一步地, 选取三组 (共计 48 个) 不同缺陷的测量数据对该神经网络进行训练, 第一组是宽为 2.5T, 深为 0.25T, 长度依次为 0.5T, 1T, \dots , 8T 的 16 个变长缺陷; 第二组是长为 2.5T, 深为 0.25T, 宽度依次为 0.5T, 1T, \dots , 8T 的 16 个变宽缺陷; 第三组是长为 2.5T, 宽为 2.5T, 深度依次为 0.05T, 0.1T, \dots , 0.8T 的 16 个变深缺陷。选取的小波函数例如为墨西哥草帽函数, 定义网络收敛时所需要的目标误差为 10^{-5} , 使用梯度下降法进行训练直至训练完成。

[0125] 利用训练好的网络对缺陷进行成像实验, 以步骤 S103 中获得的漏磁检测数据作为实验样本, 网络的输入为漏磁信号矩阵 B_a 、 B_r 和 B_c , 输入节点数为 $J \times K$; 输出为缺陷图像矩阵 $f(x, y)$, 输出节点为 $M \times N$ 个。由于小波神经网络本身具有非线性映射、逼近精确、快速收敛等特点, 可将漏磁信号矩阵 B_a 、 B_r 和 B_c 映射为缺陷图像矩阵 $f(x, y)$, 从而实现缺陷三维成像。

[0126] 对于该系统 400 的具体示例性描述参见上述对本发明实施例的方法的描述部分, 为减少冗余, 此处不再赘述。

[0127] 综上, 根据本发明实施例的管道三维漏磁成像检测系统, 先将管道缺陷平面成像空间离散化, 划分成多个小网格, 每个小网格对应一个像素点, 然后利用三维传感器阵列扫描管道并采集漏磁检测数据, 再建立一个三维直角坐标系, 同时定义缺陷图像二维矩阵与漏磁信号二维矩阵, 矩阵各元素之间相互对应, 最后利用经过训练的小波神经网络完成漏磁信号矩阵到缺陷图像矩阵的映射, 从而实现缺陷的三维轮廓重构。因此, 该系统采用三维传感器阵列获取数据, 信号特征来源丰富, 突破了传统技术仅以轴向漏磁检测信号特征作为评价的缺点, 同时, 又充分利用小波神经网络训练并行计算、速度快、映射准确的优势, 有利于实现管道缺陷的三维成像及可视化, 具有广阔的应用前景。

[0128] 在本发明的描述中, 需要理解的是, 术语“中心”、“纵向”、“横向”、“长度”、“宽度”、“厚度”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”、“顺时针”、“逆时针”、“轴向”、“径向”、“周向”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系, 仅是为了便于描述本发明和简化描述, 而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作, 因此不能理解为对本发明的限制。

[0129] 此外, 术语“第一”、“第二”仅用于描述目的, 而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此, 限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括至少一个该特征。在本发明的描述中, “多个”的含义是至少两个, 例如两个, 三个等, 除非另有明确具体的限定。

[0130] 在本发明中,除非另有明确的规定和限定,术语“安装”、“相连”、“连接”、“固定”等术语应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或成一体;可以是机械连接,也可以是电连接;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,可以是两个元件内部的连通或两个元件的相互作用关系,除非另有明确的限定。对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0131] 在本发明中,除非另有明确的规定和限定,第一特征在第二特征“上”或“下”可以是第一和第二特征直接接触,或第一和第二特征通过中间媒介间接接触。而且,第一特征在第二特征“之上”、“上方”和“上面”可是第一特征在第二特征正上方或斜上方,或仅仅表示第一特征水平高度高于第二特征。第一特征在第二特征“之下”、“下方”和“下面”可以是第一特征在第二特征正下方或斜下方,或仅仅表示第一特征水平高度小于第二特征。

[0132] 在本说明书的描述中,参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本发明的至少一个实施例或示例中。在本说明书中,对上述术语的示意性表述不必针对的是相同的实施例或示例。而且,描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。此外,在不相互矛盾的情况下,本领域的技术人员可以将本说明书中描述的不同实施例或示例以及不同实施例或示例的特征进行结合和组合。

[0133] 尽管上面已经示出和描述了本发明的实施例,可以理解的是,上述实施例是示例性的,不能理解为对本发明的限制,本领域的普通技术人员在本发明的范围内可以对上述实施例进行变化、修改、替换和变型。

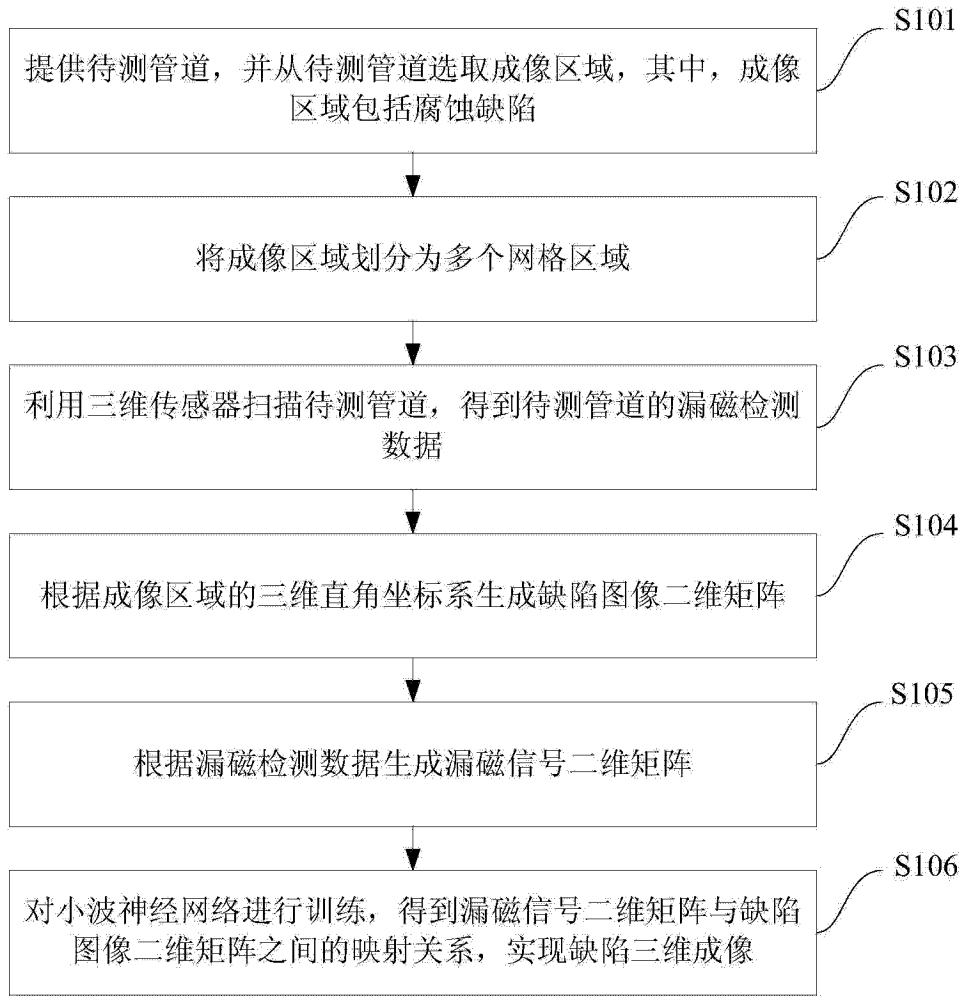


图 1

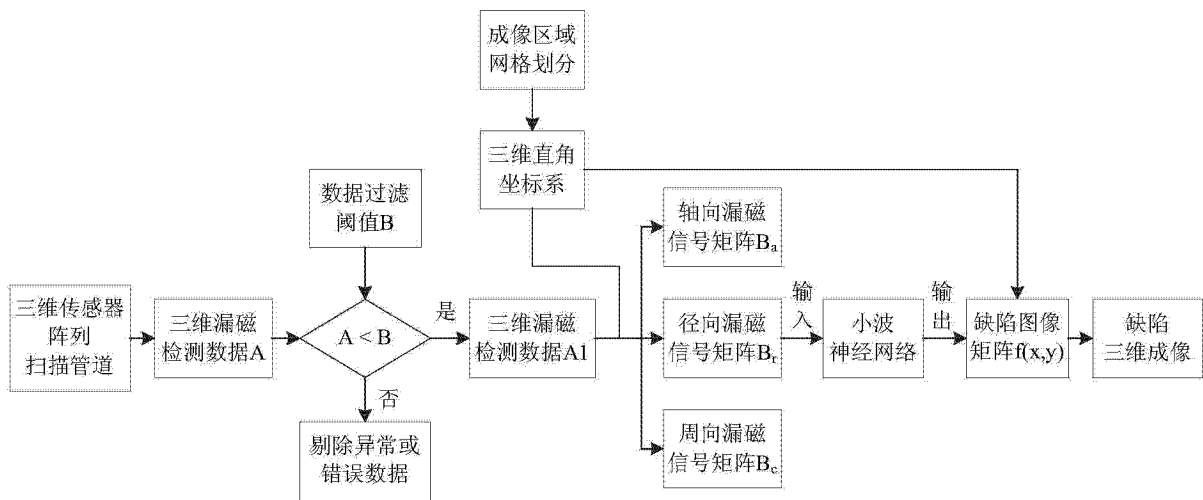


图 2

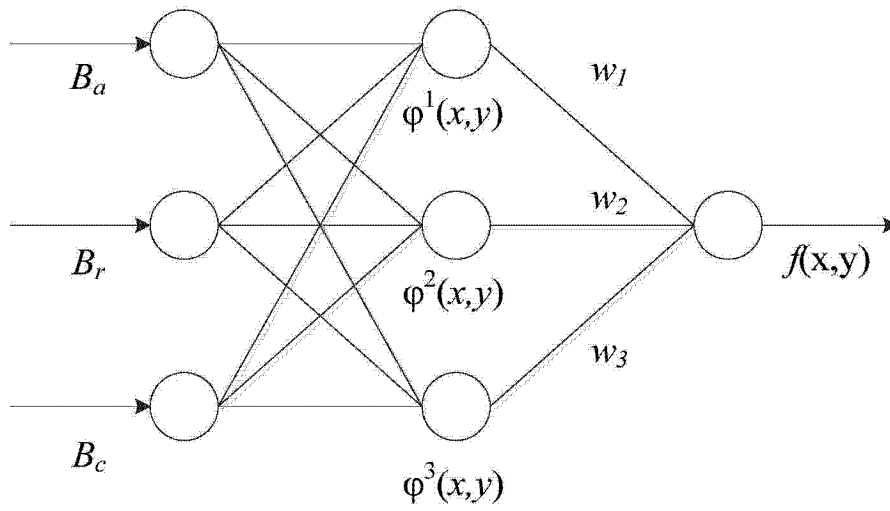


图 3

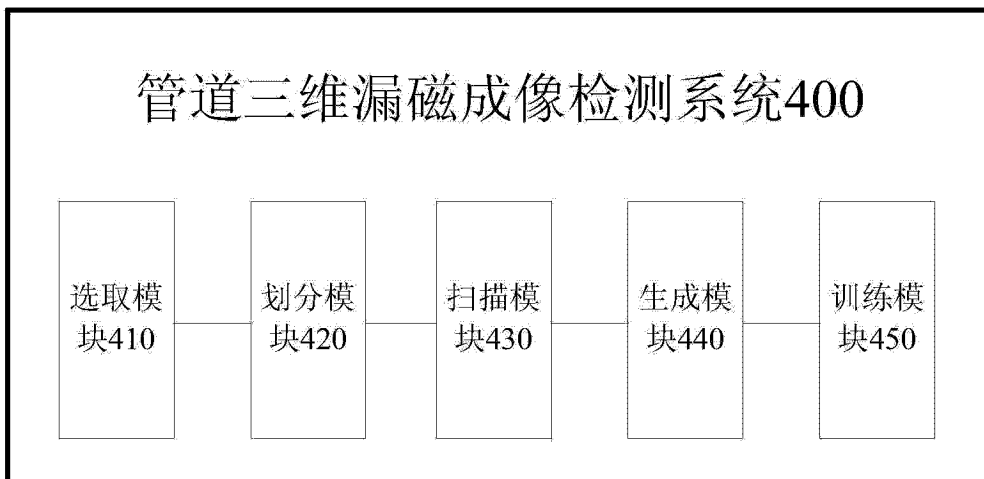


图 4