

(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
2017 年 5 月 18 日 (18.05.2017)



(10) 国际公布号
WO 2017/080133 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01N 27/85 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2016/078676
- (22) 国际申请日: 2016 年 4 月 7 日 (07.04.2016)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201510777045.4 2015 年 11 月 13 日 (13.11.2015) CN
- (71) 申请人: 华中科技大学 (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。
- (72) 发明人: 武新军 (WU, Xinjun); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 从明 (CONG, Ming); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 沈功田 (SHEN, Gongtian); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 陈杰 (CHEN, Jie); 中国湖北省武汉洪山区珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。
- (74) 代理人: 武汉东喻专利代理事务所 (普通合伙) (WUHAN DONGYU PATENT AGENCY); 中国湖北省武汉洪山区珞喻路 1037 号华中科技大学东一楼 340 房间, Hubei 430074 (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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,

[见续页]

(54) Title: OPEN MAGNETIC CIRCUIT-BASED METHOD AND DEVICE FOR DETECTING MAGNETOSTRICTIVE GUIDED-WAVE

(54) 发明名称: 一种基于开放磁路的磁致伸缩导波检测方法及装置

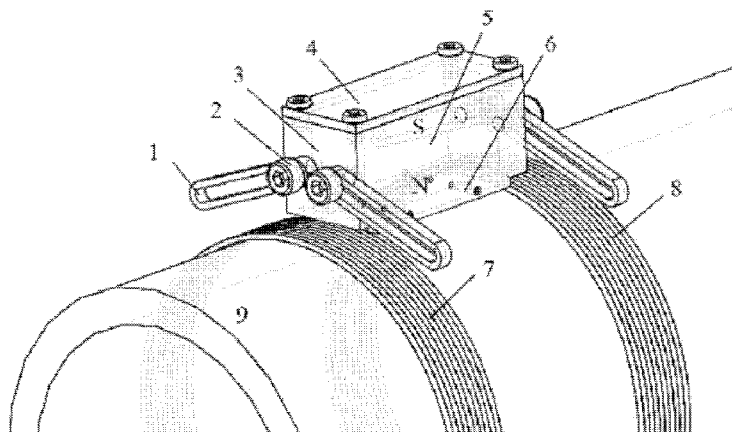


图 2

(57) Abstract: Provided is an open magnetic circuit-based sensor for detecting a magnetostrictive guided-wave. The sensor comprises: an excitation coil (7); a receiving coil (8); and a magnetic device. The magnetic device comprises multiple detection modules arranged evenly in a circumferential direction and configured to be attracted to an outer side of a test elongated member (9). Each detection module comprises: a housing; a permanent magnet (5); and a magnetic inductive board (6). Every two adjacent housings are connected via an adjustment device. The excitation coil (7) and the receiving coil (8) are close to the detection modules and are disposed together with an axle bush at the outer side of the test elongated member (9). A sinusoidal alternating current is inputted to the excitation coil (7) to generate an induced voltage in the receiving coil (8), and a computer (10) is caused to receive the induced voltage and determine whether a defect exists in an interior of the test elongated member (9). The sensor is compact, has a simple structure and a light weight, and can be installed conveniently. By connecting coils in series or arranging multiple layers of coils, an amplitude of a detection signal can be enlarged, thereby increasing detection sensitivity.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2017/080133 A1



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))。

一种基于开放磁路的磁致伸缩导波检测传感器，该检测传感器包括激励线圈（7）、接收线圈（8）和磁性装置，磁性装置包括多个检测模块，并且这些检测模块周向均匀布置，以用于吸附到被检细长构件（9）的外侧；每个检测模块均包括外壳、永磁铁（5）和导磁板（6）；相邻两外壳通过一调节装置连接；激励线圈（7）和接收线圈（8）靠近检测模块并同轴套设于被检细长构件（9）的外侧，激励线圈（7）输入正弦交变电流，以在接收线圈（8）中产生感应电压，并使计算机（10）接收此感应电压并判断被检细长构件（9）内是否存在缺陷。本传感器结构简单，具有体积小、重量轻、安装方便的特点；通过串联或多层线圈的方式，可增大检测信号幅值，提高检测灵敏度。

一种基于开放磁路的磁致伸缩导波检测方法及装置

【技术领域】

本发明属于无损检测领域，更具体地，涉及一种基于开放磁路的磁致伸缩导波检测方法及传感器。

【背景技术】

随着石油、化工、交通等行业的迅速发展，管道和缆索被大量应用，其中管道因高温、高压、冲刷等原因易出现腐蚀、穿孔或壁厚减薄等失效形式；缆索因疲劳、雨水等原因易出现断丝、锈蚀等失效形式。为避免事故的发生，需要对管道和缆索进行定期检测维护。超声导波检测技术具有单点激励即可实现一段区域快速检测的特点，在检测过程中，无需移动传感器，因此在该领域被广泛应用。

磁致伸缩导波检测具有非接触、被检构件表面无需打磨处理、检测效率高的优点，适用于细长构件的现场检测。美国专利 US005456113A 中公布了一种适用于大桥缆索的磁致伸缩导波检测方法，美国专利 US005581037A 中公布了一种适用于管道的磁致伸缩导波检测方法。上述两个专利中涉及的检测方法皆采用传统闭合磁路的磁化方式对被检缆索或管道进行轴向磁化，即通过在缆索或管道表面沿周向布置一定数量的磁化器来提供均匀的轴向静态磁场。虽然采用非接触式检测方法，无需对传感器安装位置进行表面打磨处理，检测效率高，但单个磁化器体积大，重量大，在一次导波检测过程中需要装拆多个磁化器，一定程度上降低了检测效率；同时在实际检测中，被检细长构件的数量较多，采用磁化器提供轴向静态磁场的检测方式存在安装不方便，费时费力的不足。

【发明内容】

针对现有技术的以上缺陷或改进需求，本发明提供了一种基于开放磁路的磁致伸缩导波检测方法与装置，其目的在于，利用永磁铁边缘处产生的轴向静态磁场与螺旋线圈的轴向交变磁场相互作用，实现磁致伸缩纵向模态导波的激励和接收，完成检测过程。

为实现上述目的，按照本发明，提供了一种基于开放磁路的磁致伸缩导波检测传感器，其特征在于，该检测传感器包括激励线圈、接收线圈和磁性装置，其中，

所述磁性装置包括多个检测模块，并且这些检测模块周向均匀布置，以用于吸附到被检细长构件的外侧；

每个检测模块均包括外壳、永磁铁和导磁板，其中，所述永磁铁固定安装在所述外壳内，其极化方向与被检细长构件的轴线方向垂直，所述导磁板固定安装在所述外壳上并能与被检细长构件接触；

所有永磁体靠近细长构件的一端的极性相同；

相邻两外壳通过一调节装置连接，每个调节装置均包括一调节滑杆和两调节螺栓，其中，所述调节滑杆上设置有长条孔，两调节螺栓均从所述长条孔处贯穿所述调节滑杆，每颗调节螺栓分别固定连接在外壳上；

所述激励线圈和所述接收线圈用于同轴套设于被检细长构件的外侧，所述激励线圈能在输入正弦交变电流后在被检细长构件表层产生沿细长构件轴向的交变磁场，并且此交变磁场与所述永磁铁形成的沿细长构件轴向的静态磁场相互作用，进而在细长构件中激励纵向模态超声导波并在接收线圈中产生感应电压，以使计算机接收到此感应电压的信号并判断被检细长构件内是否存在缺陷。

优选地，所述外壳包括壳体和端盖，所述壳体和端盖均由不导磁材料制成，所述端盖盖合在所述壳体上，以与壳体共同配合封闭所述永磁体。

优选地，所述导磁板由工业纯铁或低碳钢制成。

优选地，所述激励线圈和/或接收线圈分别为多层导线绕制而成。

优选地，所述激励线圈和接收线圈分别靠近所述外壳的两侧布置。

按照本发明的另一个方面，还提供了一种检测系统，其特征在于，包括检测传感器，另外，该装置还包括信号发生器、功率放大器、信号预处理器、A/D 转换器和计算机，其中，所述功率放大器与激励线圈电连接，所述信号预处理器与接收线圈电连接。所述计算机控制信号发生器产生正弦脉冲电流信号，经功率放大器放大后输入到所述检测传感器，在被检细长构件中激励纵向模态超声导波，同时接收超声导波在接收线圈中产生的电信号，经所述信号预处理器和 A/D 转换器处理后，输入所述计算机，最终获取超声导波检测信号，以判断被检细长构件内是否存在缺陷。

按照本发明的另一个方面，还提供了一种基于开放磁路的磁致伸缩导波检测方法，用于在细长构件上激励和接收纵向模态导波以及实现细长构件的缺陷检测，其特征在于，该方法包括以下步骤：

1) 在被检的细长构件的外侧周向布置多个永磁铁，其中每个所述永磁铁中的极化方向均与所述细长构件的轴线垂直，以用于对细长构件进行磁化，从而在细长构件的表层产生逐渐衰减的轴向静态磁场；此外，所有永磁铁靠近细长构件的一端的极性相同；

2) 沿所述细长构件的轴向分别套设激励线圈和接收线圈，并且激励线圈和接收线圈的绕向相反；

3) 计算机通过信号发生器和功率放大器向激励线圈输入正弦交变电流，从而在被检细长构件表层产生沿细长构件轴向的交变磁场，并且此交变磁场与所述永磁铁形成的沿细长构件轴向的静态磁场相互作用，进而在细长构件中激励纵向模态导波并在接收线圈中产生感应电压；

4) 计算机通过信号处理器和 A/D 转换器接收此感应电压的信号，以判断细长构件中是否存在缺陷。

按照本发明的另一个方面，还提供了一种基于开放磁路的磁致伸缩导波检测方法，用于在细长构件上激励和接收纵向模态导波以及实现细长构

件的缺陷检测，其特征在于，该方法包括以下步骤：

1) 在被检的细长构件的外侧周向布置多个永磁铁，其中每个所述永磁铁中的极化方向均并与所述细长构件的轴线垂直，以用于对细长构件进行磁化，从而在细长构件的表层产生逐渐衰减的轴向静态磁场；此外，所有永磁体靠近细长构件的一端的极性相同；

2) 沿所述细长构件轴向分别套设两个第一螺线管线圈，所述的两个第一螺线管线圈通过第一导线连接在一起以共同构成激励线圈；再沿所述细长构件轴向分别设置两个第二螺线管线圈，所述的两个第二螺线管线圈通过第二导线连接在一起以构成接收线圈，并且每个所述第二螺线管线圈分别套设在一对应位置处的第一螺线管线圈上，其中，两个第一螺线管线圈绕向相反，两个第二螺线管线圈绕向相反；

3) 计算机通过信号发生器和功率放大器向激励线圈输入正弦交变电流，从而在被检细长构件表层产生沿细长构件轴向的交变磁场，并且此交变磁场与所述永磁铁形成的沿细长构件轴向的静态磁场相互作用，进而在细长构件中激励纵向模式导波并在接收线圈中产生感应电压；

4) 计算机通过信号处理器和 A/D 转换器接收此感应电压的信号，以判断细长构件中是否存在缺陷。

按照本发明的另一个方面，还提供了一种基于开放磁路的磁致伸缩导波检测方法，用于在细长构件上激励和接收纵向模式导波以及实现细长构件的缺陷检测，其特征在于，该方法包括以下步骤：

1) 沿被检的细长构件的轴向分别套设两个检测装置，其中，每个检测装置均包括沿被检细长构件的外侧周向布置多个永磁铁，每个所述永磁铁中的极化方向均与所述细长构件的轴线垂直，以用于对细长构件进行磁化，从而在细长构件的表层产生逐渐衰减的轴向静态磁场；此外，所有永磁体靠近细长构件的一端的极性相同；

2) 在细长构件对应于其中一个所述检测装置的部位分别套设两个第一

螺线管线圈，所述的两个第一螺线管线圈通过第一导线连接在一起以共同构成激励线圈；然后在细长构件对应于另一个所述检测装置的部位分别套设两个第二螺线管线圈，所述两个第二螺线管线圈通过第二导线连接在一起以共同构成接收线圈，其中，两个第一螺线管线圈绕向相反，两个第二螺线管线圈绕向相反；

3) 计算机通过信号发生器和功率放大器向激励线圈输入正弦交变电流，从而在被检细长构件表层产生沿细长构件轴向的交变磁场，并且此交变磁场与所述永磁铁形成的沿细长构件轴向的静态磁场相互作用，进而在细长构件中激励纵向模式导波并在接收线圈中产生感应电压；

4) 计算机通过信号处理器和 A/D 转换器接收此感应电压的信号，以判断细长构件中是否存在缺陷。

优选地，每个所述第一螺线管线圈和/或第二螺线管线圈由多层导线绕制。

总体而言，通过本发明所构思的以上技术方案与现有技术相比，能够取得下列有益效果：

本发明提出的基于开放磁路的磁致伸缩导波传感器有别于传统的闭合磁路传感器（由磁化器提供均匀的轴向静态磁场），只需利用单排周向阵列磁铁提供的轴向静态磁场，其提供的是一种开放的磁路，磁路与传统的闭合磁路传感器不一样，并且传感器结构简单，具有体积小、重量轻、安装方便的特点；同时传感器通过串联永磁铁两侧的多层检测线圈，可增大检测信号幅值，提高检测灵敏度。

【附图说明】

图 1 为本发明实施例的基于开放磁路的磁致伸缩导波传感器的检测原理示意图；

图 2 为本发明实施例的基于开放磁路的磁致伸缩导波传感器的单个模块结构示意图；

图 3 为本发明实施例的基于开放磁路的磁致伸缩导波检测装置的安装示意图；

图 4 为使用本发明实施例的导波检测传感器，采用“自激自收”形式在标样管上获取检测信号的波形图；

图 5 为使用本发明实施例的导波检测传感器，采用“一激一收”形式在标样管上获取检测信号的波形图。

在所有附图中，相同的附图标记用来表示相同的元件或结构，其中：
1-调节滑杆 2-调节螺栓 3-壳体 4-端盖 5-永磁铁 6-导磁板 7-激励线圈 8-接收线圈 9-被检细长构件 10-计算机 11-信号发生器 12-功率放大器 13-信号预处理器 14-A/D 转换器

【具体实施方式】

为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。此外，下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

参照图 1~图 3，一种基于开放磁路的磁致伸缩导波检测传感器，其特征在于，该检测传感器包括激励线圈 7、接收线圈 8 和磁性装置，其中，

所述磁性装置包括多个检测模块，并且这些检测模块周向均匀布置，以用于吸附到被检细长构件 9 的外侧；

每个检测模块均包括外壳、永磁铁 5 和导磁板 6，其中，所述永磁铁 5 固定安装在所述外壳内，其极化方向与被检细长构件 9 的轴线方向垂直，所述导磁板 6 固定安装在所述外壳上并能与被检细长构件 9 接触；优选地，所述外壳包括壳体 3 和端盖 4，所述壳体 3 和端盖 4 均由不导磁材料制成，所述端盖 4 盖合在所述壳体 3 上，以与壳体 3 共同配合封闭所述永磁体，所述导磁板 6 由工业纯铁制成。

所有永磁体靠近细长构件的一端的极性相同；

相邻两外壳通过一调节装置连接，每个调节装置均包括一调节滑杆 1 和两调节螺栓 2，其中，所述调节滑杆 1 上设置有长条孔，两调节螺栓 2 均从所述长条孔处贯穿所述调节滑杆 1，每颗调节螺栓 2 分别固定连接在一外壳上；

所述激励线圈 7 和所述接收线圈 8 用于同轴套设于被检细长构件 9 的外侧，所述激励线圈 7 输入正弦交变电流，从而在被检细长构件 9 表层产生沿细长构件轴向的交变磁场，并且此交变磁场与所述永磁铁 5 形成的沿细长构件轴向的静态磁场相互作用，进而在细长构件中产生沿细长构件纵向的模式导波并在接收线圈 8 中产生感应电压，以使计算机 10 接收到此感应电压的信号并判断被检细长构件 9 内是否存在缺陷。优选地，所述激励线圈 7 和/或接收线圈 8 分别为多层导线绕制而成。所述激励线圈 7 和接收线圈 8 分别靠近所述外壳的两端布置，利用永磁铁 5 边缘处轴向磁场的峰值点激励和接收超声导波，以增强检测信号幅值。

激励线圈 7 通以交流电，形成沿被检构件轴线方向的交变磁场，该交变磁场与方形磁铁提供的轴向静态磁场相互作用，在被检构件中产生磁致伸缩应变从而激励出超声导波信号进行无损检测；同时带有构件信息的超声导波信号引起被检构件磁感应强度变化，在接收线圈 8 产生带有检测信息的电信号，根据该电信号可获取检测结果。

参照图 2，检测模块以周向阵列形式布置，所述中空壳体 3 和端盖 4 均优选采用尼龙材料制作；导磁板 6 放置在方形磁铁上，并由紧定螺钉固定在壳体 3 上，方形磁铁极化方向与被检细长构件 9 的轴线方向垂直；激励线圈 7 和接收线圈 8 紧靠导磁板 6 两侧绕制在被检管道外表面，并通过串联或多层线圈的方式，增大检测信号幅值，以提高检测灵敏度，其中方形磁铁两侧的线圈绕向相反，同侧线圈绕向相同；调节螺栓 2 贯穿调节滑杆 1 与壳体 3 连接。

参照图 3，多个检测模块以周向阵列形式组成所述检测传感器，由调节滑杆 1 连接各个检测模块，同时通过改变调节螺栓 2 与调节滑杆 1 的相对位置来控制相邻检测模块之间的间距，以适应不同直径管道或缆索的检测工况。其中，相邻检测模块之间沿被检管道轴线方向两侧均采用调节滑杆 1 连接，以确保各个检测模块的轴向安装位置相同。同时，可根据被检管道的直径，确定满足检测需要的单个检测模块的个数，具有良好的可重构性，且整个传感器体积小，重量轻，方便安装。

计算机 10 控制信号发生器 11 产生正弦脉冲电流信号，经功率放大器 12 放大后输入到上述检测传感器，基于磁致伸缩效应由激励线圈 7 在被检管道激励出超声导波，同时基于磁致伸缩逆效应在接收线圈 8 产生电信号，经所述信号预处理器 13 和 A/D 转换器 14 后，输入所述计算机 10，最终获取超声导波检测信号，完成检测过程。

下面介绍两种“自激自收”形式的检测方法。

第一种基于开放磁路的磁致伸缩导波检测方法，用于在细长构件上激励和接收纵向模态导波以及实现细长构件的缺陷检测，该方法包括以下步骤：

1) 在被检的细长构件的外侧周向布置多个永磁铁 5，其中每个所述永磁铁 5 中的极化方向与所述细长构件的轴线垂直，以用于对细长构件进行磁化，从而在细长构件的表层产生逐渐衰减的轴向静态磁场；此外，所有永磁体靠近细长构件的一端的极性相同；

2) 沿所述细长构件的轴向分别套设激励线圈 7 和接收线圈 8，并且激励线圈 7 和接收线圈 8 的绕向相反；

3) 计算机 10 通过信号发生器 11 和功率放大器 12 向激励线圈 7 输入正弦交变电流，从而在被检细长构件 9 表层产生沿细长构件轴向的交变磁场，并且此交变磁场与所述永磁铁 5 形成的沿细长构件轴向的静态磁场相互作用，进而在细长构件中激励纵向模态导波并在接收线圈 8 中产生感应

电压；

4)计算机 10 通过信号处理器和 A/D 转换器 14 接收此感应电压的信号，以判断细长构件中是否存在缺陷。

第二种基于开放磁路的磁致伸缩导波检测方法，用于在细长构件上激励和接收纵向模式导波以及实现细长构件的缺陷检测，其特征在于，该方法包括以下步骤：

1) 在被检的细长构件的外侧周向布置多个永磁铁 5，每个所述永磁铁 5 中的极化方向均与所述细长构件的轴线垂直，以用于对细长构件进行磁化，从而在细长构件的表层产生逐渐衰减的轴向静态磁场；此外，所有永磁体靠近细长构件的一端的极性相同；

2) 沿所述细长构件轴向分别套设两个第一螺线管线圈，所述的两个第一螺线管线圈通过第一导线连接在一起以共同构成激励线圈 7；再沿所述细长构件轴向分别设置两个第二螺线管线圈，所述的两个第二螺线管线圈通过第二导线连接在一起以构成接收线圈 8，并且每个所述第二螺线管线圈分别套设在一对应位置处的第一螺线管线圈上，其中，两个第一螺线管线圈绕向相反，两个第二螺线管线圈绕向相反；

3) 计算机 10 通过信号发生器 11 和功率放大器 12 向激励线圈 7 输入正弦交变电流，从而在被检细长构件 9 表层产生沿细长构件轴向的交变磁场，并且此交变磁场与所述永磁铁 5 形成的沿细长构件轴向的静态磁场相互作用，进而在细长构件中激励纵向模式导波并在接收线圈 8 中产生感应电压；

4)计算机 10 通过信号处理器和 A/D 转换器 14 接收此感应电压的信号，以判断细长构件中是否存在缺陷。

“自激自收”的意思是上述设置在细长构件一个部位处的永磁铁 5、激励线圈 7 和接收线圈 8 等组成一个传感器，此传感器自身可以产生激励信号和获得感应信号。

图 4 为使用本发明实施例的导波检测传感器,采用第一种“自激自收”的方法在标样管上获取检测信号的波形图。标样管为外径 90mm,壁厚 8mm,长度 2.8m 的碳钢管。将所述导波检测传感器安装在标样管的左端部,周向共 9 个检测模块,采用图 3 所示的线圈连接方式,方形磁铁两侧的激励线圈 7 和接收线圈 8 均为单层线圈。激励频率为 50kHz,图 4 中 M 表示激励线圈 7 和接收线圈 8 直接耦合产生的电磁脉冲信号,E1、E2 和 E3 分别表示超声导波经标样管右端部反射后的第一次、第二次和第三次回波信号。检测信号幅值明显,信噪比好,说明采用开放磁路的磁致伸缩导波检测方法可行,且检测效果较好。

下面介绍“一激一收”的测量方法。

一种基于开放磁路的磁致伸缩导波检测方法,用于在细长构件上激励和接收纵向模态导波以及实现细长构件的缺陷检测,其特征在于,该方法包括以下步骤:

1) 沿被检的细长构件的轴向分别套设两个检测装置,其中,每个检测装置均包括沿被检细长构件 9 的外侧周向布置多个永磁铁 5,每个所述永磁铁 5 中的极化方向均与所述细长构件的轴线垂直,以用于对细长构件进行磁化,从而在细长构件的表层产生逐渐衰减的轴向静态磁场;此外,所有永磁体靠近细长构件的一端的极性相同;

2) 在细长构件对应于其中一个所述检测装置的部位分别套设两个第一螺线管线圈,所述的两个第一螺线管线圈通过第一导线连接在一起以共同构成激励线圈 7;然后在细长构件对应于另一个所述检测装置的部位分别套设两个第二螺线管线圈,所述两个第二螺线管线圈通过第二导线连接在一起以共同构成激励线圈 7,其中,两个第一螺线管线圈绕向相反,两个第二螺线管线圈绕向相反;优选地,每个所述第一螺线管线圈和/或第二螺线管线圈由多层导线绕制。

3) 计算机 10 通过信号发生器 11 和功率放大器 12 向激励线圈 7 输入

正弦交变电流，从而在被检细长构件 9 表层产生沿细长构件轴向的交变磁场，并且此交变磁场与所述永磁铁 5 形成的沿细长构件轴向的静态磁场相互作用，进而在细长构件中激励纵向模态导波并在接收线圈 8 中产生感应电压；

4) 计算机 10 通过信号处理器和 A/D 转换器 14 接收此感应电压的信号，以判断细长构件中是否存在缺陷。

“一激一收”是在细长构件的其中一个部位放置的永磁铁 5 与螺线管线圈共同构成的组件相当于激励传感器，另一个部位放置的永磁铁 5 与螺线管线圈共同构成的组件相当于接收传感器，因此一个作激励，一个作接收。

图 5 为使用本发明实施例的导波检测传感器，采用“一激一收”的方法在标样管上获取检测信号的波形图。激励线圈 7 与图 4 的检测方式相同，激励传感器仍安装在标样管左端部。接收传感器则安装在距激励传感器 0.8m 处，采用双层线圈且将方形磁铁两侧的线圈串联作为接收线圈 8 以增大检测信号幅值。将激励频率增大至 120kHz，图 5 中 M 表示激励线圈 7 和接收线圈 8 直接耦合产生的电磁脉冲信号，P 表示经过接收传感器的通过信号，ER 表示超声导波经标样管右端部反射后的回波信号，EL 表示超声导波依次经过标样管右端部和左端部反射后的回波信号。相比较于图 4，图 5 的激励条件相同，接收线圈 8 则通过双层线圈串联的方式，检测信号幅值增大，说明采用多层线圈串联的方式，高频激励超声导波，在保证检测信号幅值的条件下，提高了检测精度。从实验结果可看出，利用本发明提供的检测方法和检测装置，检测效果良好，传感器安装方便快捷，检测效率高，满足现场检测需求。

本领域的技术人员容易理解，以上所述仅为本发明的较佳实施例而已，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

权 利 要 求

1、一种基于开放磁路的磁致伸缩导波检测传感器，其特征在于，该检测传感器包括激励线圈、接收线圈和磁性装置，其中，

所述磁性装置包括多个检测模块，并且这些检测模块周向均匀布置，以用于吸附到被检细长构件的外侧；

每个检测模块均包括外壳、永磁铁和导磁板，其中，所述永磁铁固定安装在所述外壳内，其极化方向与被检细长构件的轴线方向垂直，所述导磁板固定安装在所述外壳上并能与被检细长构件接触；

所有永磁体靠近细长构件的一端的极性相同；

相邻两外壳通过一调节装置连接，每个调节装置均包括一调节滑杆和两调节螺栓，其中，所述调节滑杆上设置有长条孔，两调节螺栓均从所述长条孔处贯穿所述调节滑杆，每颗调节螺栓分别固定连接在外壳上；

所述激励线圈和所述接收线圈用于同轴套设于被检细长构件的外侧，所述激励线圈能在输入正弦交变电流后在被检细长构件表层产生沿细长构件轴向的交变磁场，并且此交变磁场与所述永磁铁形成的沿细长构件轴向的静态磁场相互作用，进而在细长构件中激励纵向模态超声导波并在接收线圈中产生感应电压，以使计算机接收到此感应电压的信号并判断被检细长构件内是否存在缺陷。

2、根据权利要求1所述的基于开放磁路的磁致伸缩导波检测传感器，其特征在于，所述外壳包括壳体和端盖，所述壳体和端盖均由不导磁材料制成，所述端盖盖合在所述壳体上，以与壳体共同配合封闭所述永磁体。

3、根据权利要求1所述的单个检测模块，其特征在于，所述导磁板由工业纯铁或低碳钢制成。

4、根据权利要求1所述的单个检测模块，其特征在于，所述激励线圈和/或接收线圈分别为多层导线绕制而成。

5、根据权利要求1所述的单个检测模块，其特征在于，所述激励线圈

和接收线圈分别靠近所述外壳的两侧布置。

6、一种检测系统，其特征在于，包括权利要求 1 所述的检测传感器，另外，该装置还包括信号发生器、功率放大器、信号预处理器、A/D 转换器和计算机，其中，所述功率放大器与激励线圈电连接，所述信号预处理器与接收线圈电连接。所述计算机控制信号发生器产生正弦脉冲电流信号，经功率放大器放大后输入到所述检测传感器，在被检细长构件中激励纵向模态超声导波，同时接收超声导波在接收线圈中产生的电信号，经所述信号预处理器和 A/D 转换器处理后，输入所述计算机，最终获取超声导波检测信号，以判断被检细长构件内是否存在缺陷。

7、一种基于开放磁路的磁致伸缩导波检测方法，用于在细长构件上激励和接收纵向模态导波以及实现细长构件的缺陷检测，其特征在于，该方法包括以下步骤：

1) 在被检的细长构件的外侧周向布置多个永磁铁，其中每个所述永磁铁中的极化方向均与所述细长构件的轴线垂直，以用于对细长构件进行磁化，从而在细长构件的表层产生逐渐衰减的轴向静态磁场；此外，所有永磁铁靠近细长构件的一端的极性相同；

2) 沿所述细长构件的轴向分别套设激励线圈和接收线圈，并且激励线圈和接收线圈的绕向相反；

3) 计算机通过信号发生器和功率放大器向激励线圈输入正弦交变电流，从而在被检细长构件表层产生沿细长构件轴向的交变磁场，并且此交变磁场与所述永磁铁形成的沿细长构件轴向的静态磁场相互作用，进而在细长构件中激励纵向模态导波并在接收线圈中产生感应电压；

4) 计算机通过信号处理器和 A/D 转换器接收此感应电压的信号，以判断细长构件中是否存在缺陷。

8、一种基于开放磁路的磁致伸缩导波检测方法，用于在细长构件上激励和接收纵向模态导波以及实现细长构件的缺陷检测，其特征在于，该方

法包括以下步骤：

1) 在被检的细长构件的外侧周向布置多个永磁铁，其中每个所述永磁铁中的极化方向均并与所述细长构件的轴线垂直，以用于对细长构件进行磁化，从而在细长构件的表层产生逐渐衰减的轴向静态磁场；此外，所有永磁体靠近细长构件的一端的极性相同；

2) 沿所述细长构件轴向分别套设两个第一螺线管线圈，所述的两个第一螺线管线圈通过第一导线连接在一起以共同构成激励线圈；再沿所述细长构件轴向分别设置两个第二螺线管线圈，所述的两个第二螺线管线圈通过第二导线连接在一起以构成接收线圈，并且每个所述第二螺线管线圈分别套设在一对应位置处的第一螺线管线圈上，其中，两个第一螺线管线圈绕向相反，两个第二螺线管线圈绕向相反；

3) 计算机通过信号发生器和功率放大器向激励线圈输入正弦交变电流，从而在被检细长构件表层产生沿细长构件轴向的交变磁场，并且此交变磁场与所述永磁铁形成的沿细长构件轴向的静态磁场相互作用，进而在细长构件中激励纵向模式导波并在接收线圈中产生感应电压；

4) 计算机通过信号处理器和 A/D 转换器接收此感应电压的信号，以判断细长构件中是否存在缺陷。

9、一种基于开放磁路的磁致伸缩导波检测方法，用于在细长构件上激励和接收纵向模式导波以及实现细长构件的缺陷检测，其特征在于，该方法包括以下步骤：

1) 沿被检的细长构件的轴向分别套设两个检测装置，其中，每个检测装置均包括沿被检细长构件的外侧周向布置多个永磁铁，每个所述永磁铁中的极化方向均与所述细长构件的轴线垂直，以用于对细长构件进行磁化，从而在细长构件的表层产生逐渐衰减的轴向静态磁场；此外，所有永磁体靠近细长构件的一端的极性相同；

2) 在细长构件对应于其中一个所述检测装置的部位分别套设两个第一

螺线管线圈，所述的两个第一螺线管线圈通过第一导线连接在一起以共同构成激励线圈；然后在细长构件对应于另一个所述检测装置的部位分别套设两个第二螺线管线圈，所述两个第二螺线管线圈通过第二导线连接在一起以共同构成接收线圈，其中，两个第一螺线管线圈绕向相反，两个第二螺线管线圈绕向相反；

3) 计算机通过信号发生器和功率放大器向激励线圈输入正弦交变电流，从而在被检细长构件表层产生沿细长构件轴向的交变磁场，并且此交变磁场与所述永磁铁形成的沿细长构件轴向的静态磁场相互作用，进而在细长构件中激励纵向模态导波并在接收线圈中产生感应电压；

4) 计算机通过信号处理器和 A/D 转换器接收此感应电压的信号，以判断细长构件中是否存在缺陷。

10、根据权利要求 8 或 9 所述的一种基于开放磁路的磁致伸缩导波检测方法，其特征在于，每个所述第一螺线管线圈和/或第二螺线管线圈由多层导线绕制。

附图

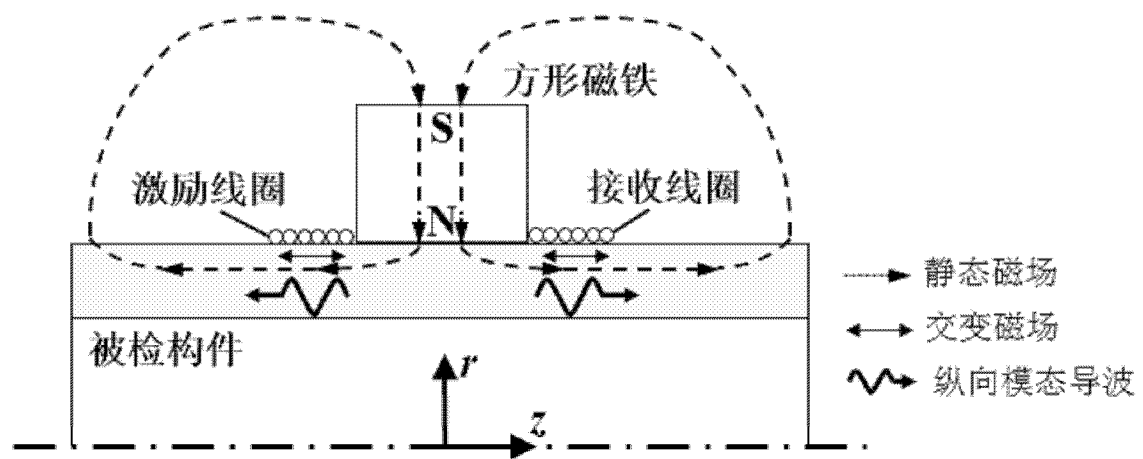


图 1

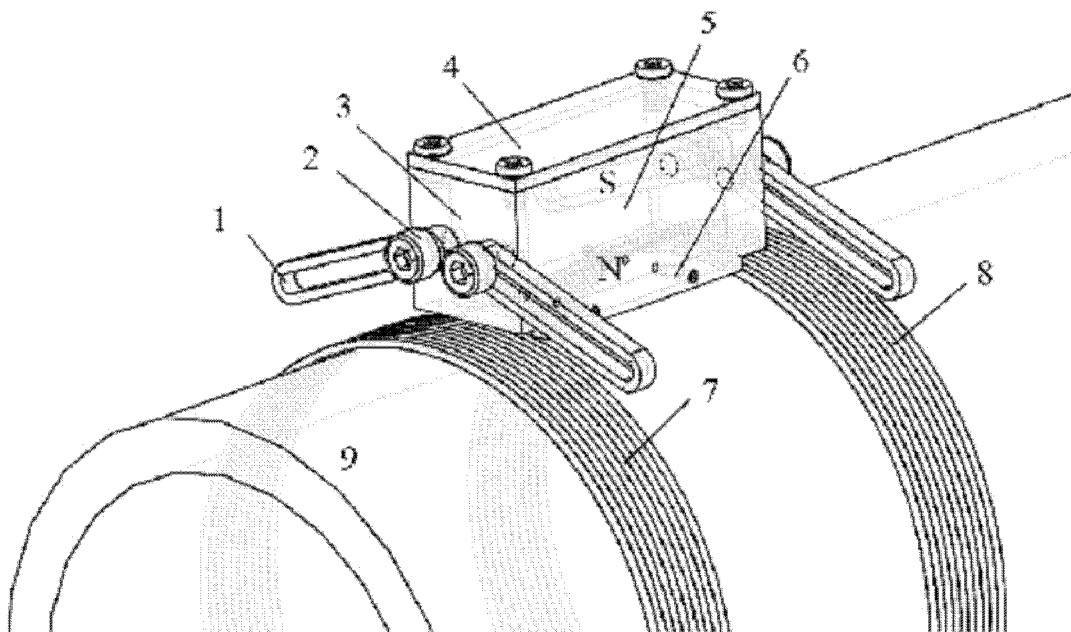


图 2

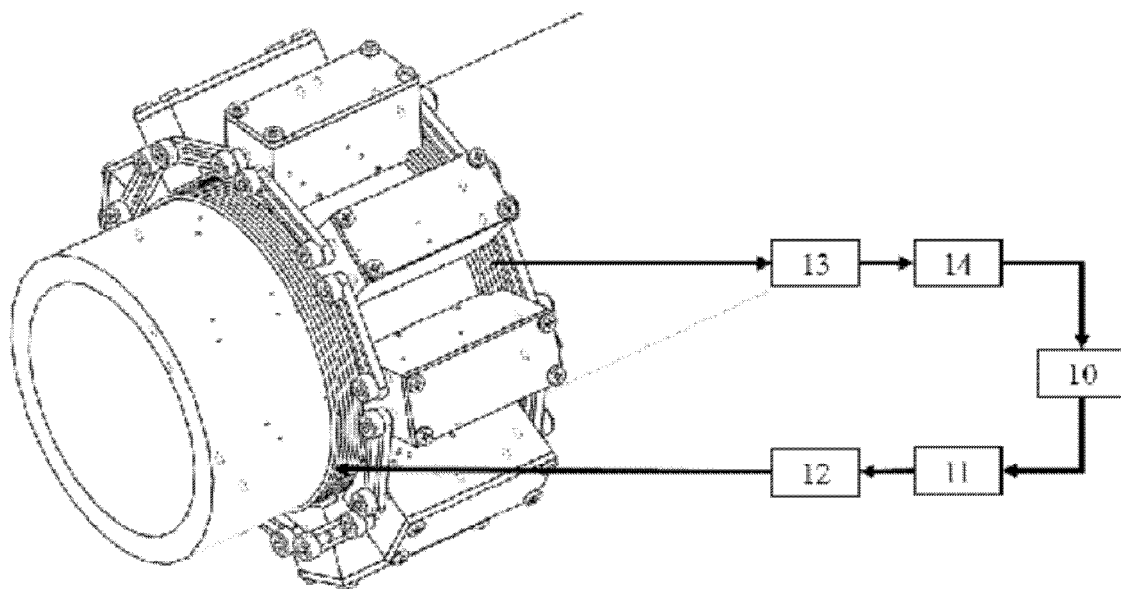


图 3

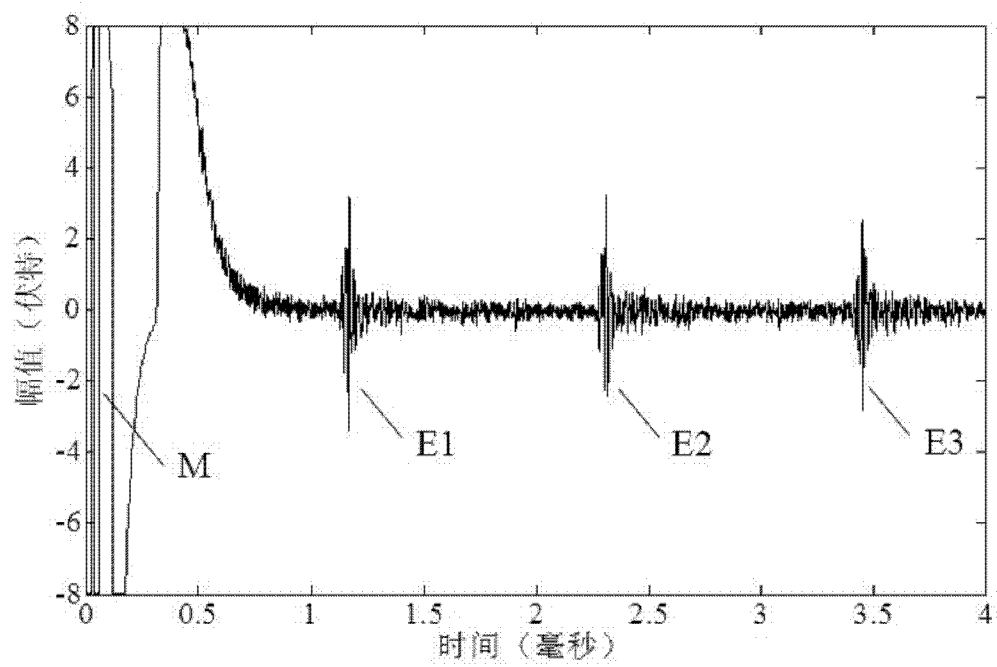


图 4

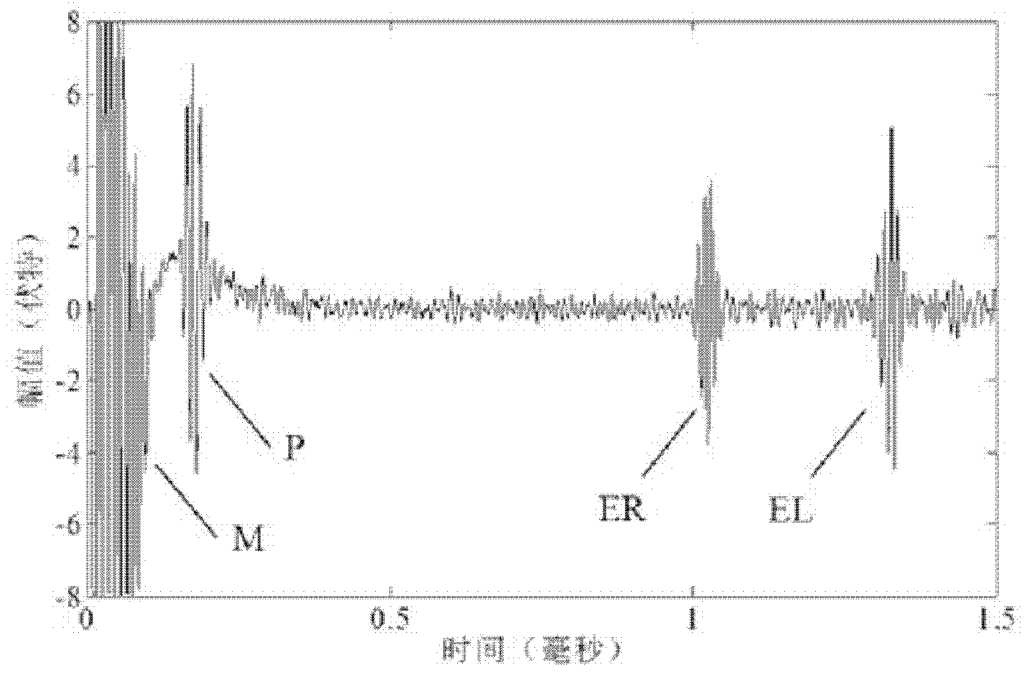


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2016/078676

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)

G01N27/-, G01N29/-

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)

CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC, guide wave, open, magnetic circuit, coil, magnetic field, magnetic conductive, magnetostriction, guide, wave, sensor, transducer, static, magnet+, conductor, direction, vertical, perpendicular, flaw, defect

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 105445362 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY), 30 March 2016 (30.03.2016), claims 1-10	1-10
A	CN 1183142 A (SOUTHWEST RESEARCH INSTITUTE), 27 May 1998 (27.05.1998), description, page 7, line 2 to page 11, line 13, and figures 1 and 2a	1-10
A	US 5456113 A (SOUTHWEST RES. INST.), 10 October 1995 (10.10.1995), the whole document	1-10
A	CN 101545755 A (ZHEJIANG UNIVERSITY), 30 September 2009 (30.09.2009), the whole document	1-10
A	CN 101451976 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY), 10 June 2009 (10.06.2009), the whole document	1-10
A	JP 2001174343 A (ONISHI, T.), 29 June 2001 (29.06.2001), the whole document	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“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
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“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
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“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
“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)	“&” document member of the same patent family
“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	

Date of the actual completion of the international search 16 July 2016 (16.07.2016)	Date of mailing of the international search report 27 July 2016 (27.07.2016)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer WANG, Ning Telephone No.: (86-10) 52871187

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2016/078676

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 105445362 A	30 March 2016	None	
CN 1183142 A	27 May 1998	CA 2214981 C	30 May 2006
		AT 326010 T	15 June 2006
		JP H11502020 A	16 February 1999
		EP 0813680 B1	10 May 2006
		PT 813680 E	29 September 2006
		JP 3669706 B2	13 July 2005
		CN 1111738 C	18 June 2003
		AU 4989096 A	02 October 1996
		CA 2214981 A1	19 September 1996
		US 5581037 A	03 December 1996
		EP 0813680 A1	29 December 1997
		AU 690436 B2	23 April 1998
		ES 2264799 T3	16 January 2007
		DE 69636115 T2	30 November 2006
		WO 9628727 A1	19 September 1996
US 5456113 A	10 October 1995	US 5457994 A	17 October 1995
		US 5581037 A	03 December 1996
CN 101545755 A	30 September 2009	None	
CN 101451976 A	10 June 2009	CN 101451976 B	20 July 2011
JP 2001174343 A	29 June 2001	None	

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) G01N27/-, G01N29/- 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)) CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC, 磁致伸缩, 导波, 传感器, 开放, 磁路, 线圈, 静态, 磁场, 磁铁, 导磁, 方向, 垂直, 缺陷, magnetostriction, guide, wave, sensor, transducer, static, magnet+, conductor, direction, vertical, perpendicular, flaw, defect																							
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 105445362 A (华中科技大学) 2016年 3月 30日 (2016 - 03 - 30) 权利要求1-10</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 1183142 A (西南研究院) 1998年 5月 27日 (1998 - 05 - 27) 说明书第7页第2行至第11页第13行, 附图1、2a</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 5456113 A (SOUTHWEST RES. INST.) 1995年 10月 10日 (1995 - 10 - 10) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 101545755 A (浙江大学) 2009年 9月 30日 (2009 - 09 - 30) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 101451976 A (华中科技大学) 2009年 6月 10日 (2009 - 06 - 10) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2001174343 A (ONISHI, TADASHI) 2001年 6月 29日 (2001 - 06 - 29) 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 105445362 A (华中科技大学) 2016年 3月 30日 (2016 - 03 - 30) 权利要求1-10	1-10	A	CN 1183142 A (西南研究院) 1998年 5月 27日 (1998 - 05 - 27) 说明书第7页第2行至第11页第13行, 附图1、2a	1-10	A	US 5456113 A (SOUTHWEST RES. INST.) 1995年 10月 10日 (1995 - 10 - 10) 全文	1-10	A	CN 101545755 A (浙江大学) 2009年 9月 30日 (2009 - 09 - 30) 全文	1-10	A	CN 101451976 A (华中科技大学) 2009年 6月 10日 (2009 - 06 - 10) 全文	1-10	A	JP 2001174343 A (ONISHI, TADASHI) 2001年 6月 29日 (2001 - 06 - 29) 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 105445362 A (华中科技大学) 2016年 3月 30日 (2016 - 03 - 30) 权利要求1-10	1-10																					
A	CN 1183142 A (西南研究院) 1998年 5月 27日 (1998 - 05 - 27) 说明书第7页第2行至第11页第13行, 附图1、2a	1-10																					
A	US 5456113 A (SOUTHWEST RES. INST.) 1995年 10月 10日 (1995 - 10 - 10) 全文	1-10																					
A	CN 101545755 A (浙江大学) 2009年 9月 30日 (2009 - 09 - 30) 全文	1-10																					
A	CN 101451976 A (华中科技大学) 2009年 6月 10日 (2009 - 06 - 10) 全文	1-10																					
A	JP 2001174343 A (ONISHI, TADASHI) 2001年 6月 29日 (2001 - 06 - 29) 全文	1-10																					
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																							
* 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 2016年 7月 16日		国际检索报告邮寄日期 2016年 7月 27日																					
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局 (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		授权官员 王宁 电话号码 (86-10)52871187																					

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2016/078676

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	105445362	A	2016年 3月 30日	无			
CN	1183142	A	1998年 5月 27日	CA	2214981	C	2006年 5月 30日
				AT	326010	T	2006年 6月 15日
				JP	H11502020	A	1999年 2月 16日
				EP	0813680	B1	2006年 5月 10日
				PT	813680	E	2006年 9月 29日
				JP	3669706	B2	2005年 7月 13日
				CN	1111738	C	2003年 6月 18日
				AU	4989096	A	1996年 10月 2日
				CA	2214981	A1	1996年 9月 19日
				US	5581037	A	1996年 12月 3日
				EP	0813680	A1	1997年 12月 29日
				AU	690436	B2	1998年 4月 23日
				ES	2264799	T3	2007年 1月 16日
				DE	69636115	T2	2006年 11月 30日
				WO	9628727	A1	1996年 9月 19日
US	5456113	A	1995年 10月 10日	US	5457994	A	1995年 10月 17日
				US	5581037	A	1996年 12月 3日
CN	101545755	A	2009年 9月 30日	无			
CN	101451976	A	2009年 6月 10日	CN	101451976	B	2011年 7月 20日
JP	2001174343	A	2001年 6月 29日	无			

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)