



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102538836 A

(43) 申请公布日 2012. 07. 04

(21) 申请号 201110344963. X

(22) 申请日 2011. 10. 28

(30) 优先权数据

12/914322 2010. 10. 28 US

(71) 申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 M·鲍勒 C·施勒

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 柯广华 朱海煜

(51) Int. Cl.

G01D 5/244 (2006. 01)

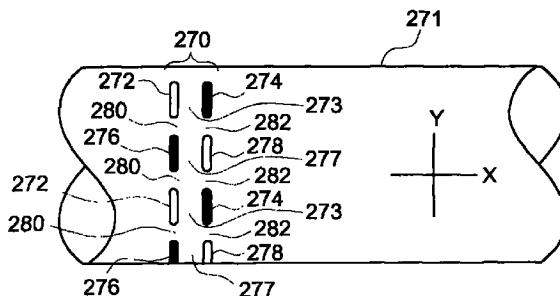
权利要求书 2 页 说明书 19 页 附图 11 页

(54) 发明名称

用于轴的分区磁编码及用于测量旋转角、旋转速度和转矩的方法和设备

(57) 摘要

本发明的名称为“用于轴的分区磁编码及用于测量旋转角、旋转速度和转矩的方法和设备”。磁编码轴用于检测在操作期间施加在轴(271)上的力。磁编码区域(271)布置在轨道(271)或带中，环绕轴(271)，并形成在轴(271)内或附到其上。磁编码区域(272)在其间定义力敏感区域(272)。磁场围绕力敏感区域(272)，并被通过力敏感区域(509)的力矢量改变。这些磁场由磁场传感器(352)感测以确定多种轴(271)参数，例如包括：轴(271)旋转速度、轴(271)旋转位置、以及施加在轴(271)上的力，例如转矩、弯曲力、应力和应变力。为了提供轴(271)操作参数和力的连续检测，磁编码区域(272)之间的死区和其它带中的磁编码区域(272)相关联的力敏感区域(509)对齐。



1. 一种磁螺旋编码轴 (271), 包括 :

第一带, 包括与具有第二磁极性的第二磁编码区域 (272) 交替的、具有第一磁极性的第一磁编码区域 (272) ;

第二带, 包括与所述第一磁编码区域 (272) 交替的所述第二磁编码区域 (272), 其中所述第一带与所述第二带分隔开, 以使得所述第一带中的第一磁编码区域 (272) 与所述第二带中的第二磁编码区域 (272) 相对, 并且所述第一带中的第二磁编码区域 (272) 与所述第二带中的第一磁编码区域 (272) 相对, 力敏感区域 (509) 在所述第一磁编码区域与所述第二磁编码区域 (272) 之间, 磁场存在于每个力敏感区域 (509) 之上;

其中, 所述第一带和所述第二带以螺旋形状部署在轴 (271) 的周界周围; 以及

所述轴 (271), 与用于检测所述力敏感区域 (272) 中的磁场的第一固定磁场传感器 (352) 一起使用, 其中, 可响应于检测的磁场确定旋转速度、轴 (271) 旋转位置、弯曲力、转矩力、应力和应变力中的一个或多个。

2. 如权利要求 1 所述的磁螺旋编码轴 (271), 用于响应于由所述第一传感器 (365) 对所述磁场的相继检测之间的时间间隔和轴 (271) 直径以及所述第一带和所述第二带在轴向或切向方向通过传感器阵列 (352) 的速度中的一项确定所述轴 (271) 的旋转速度。

3. 如权利要求 1 所述的磁螺旋编码轴 (271), 用于响应于由所述第一传感器 (365) 检测的磁场标记确定轴 (271) 旋转位置。

4. 如权利要求 1 所述的磁螺旋编码轴 (271), 其中, 由所述第一传感器和第二传感器 (365) 检测的磁场区分施加在所述轴 (271) 上的弯曲力和转矩力。

5. 如权利要求 1 所述的磁螺旋编码轴 (271), 还包括 : 第二传感器 (365), 其中, 所述第一磁编码区域与所述第二磁编码区域 (272) 之间的所述力敏感区域 (509) 包括由在所述第二磁编码区域 (270) 左边的所述第一磁编码区域 (270) 定义的第一极性力敏感区域 (509), 并且定义由在所述第二磁编码区域 (270) 右边的所述第一磁编码区域 (270) 定义的第二极性力敏感区域 (509); 以及

所述第一传感器和所述第二传感器 (365) 用于响应于相应所述第一极性力敏感区域和所述第二极性力敏感区域 (272) 的磁场产生相应第一信号和第二信号, 所述第一力敏感区域和所述第二力敏感区域 (272) 被相应通过所述第一极性力敏感区域 (509) 的第一力和通过所述第二极性力敏感区域 (509) 的第二力改变, 所述第一信号在符号上与所述第二信号相反。

6. 如权利要求 5 所述的磁螺旋编码轴 (271), 其中, 所述第一信号与所述第二信号组合, 用于确定施加到所述轴 (271) 的力, 所述力包括转矩力、弯曲力、应力和应变力。

7. 如权利要求 1 所述的磁螺旋编码轴 (271), 其中, 所述第一带与所述第二带之间的所述力敏感区域 (509) 对垂直于所述第一带和所述第二带的所述第一磁编码区域和所述第二磁编码区域 (272) 的力分量的敏感度最大, 而对平行于所述第一带和所述第二带的所述第一磁编码区域和所述第二磁编码区域 (272) 的力分量的敏感度最小。

8. 如权利要求 1 所述的磁螺旋编码轴 (271), 其中, 所述轴 (271) 被部署在风力涡轮机中, 并由与所述轴 (271) 机械通信的风力涡轮机转子叶片驱动。

9. 如权利要求 1 所述的磁螺旋编码轴 (271), 其中, 所述轴 (271) 被部署在电力涡轮机中或电力发电机中。

10. 一种磁螺旋编码轴 (271) 和磁场检测系统, 包括:

第一磁编码带、第二磁编码带、第三磁编码带和第四磁编码带, 它们螺旋环绕所述轴 (271), 每个带包括与具有第二磁极性的第二磁编码区域 (272) 交替的、具有第一磁极性的第一磁编码区域 (272);

第一死区、第二死区、第三死区和第四死区, 它们定义在相继第一磁编码区域与第二磁编码区域 (272) 之间的每个带中;

所述第一带和所述第二带由第一距离分隔开, 并且所述第三带和所述第四带由所述第一距离分隔开, 在所述第一带与所述第三带之间以及所述第二带与所述第四带之间的第二距离大于所述第一距离;

在所述第一带和所述第二带中第一磁编码区域 (272) 与第二磁编码区域 (272) 相对, 并在其间定义第一力敏感区域 (509);

在所述第三带和所述第四带中第一磁编码区域 (272) 与第二磁编码区域 (272) 相对, 并在其间定义第二力敏感区域 (509);

在所述第三带和所述第四带中所述第一力敏感区域 (272) 相对第一死区和第二死区分隔开;

在所述第一带和所述第二带中所述第二力敏感区域 (272) 相对第三死区和第四死区分隔开; 以及

靠近所述轴 (271) 安装的传感器 (365) 用于检测围绕所述第一力敏感区域和第二力敏感区域 (272) 的磁场, 其中, 施加在所述第一力敏感区域和所述第二力敏感区域 (272) 之一上或二者上的力改变围绕所述相应第一力敏感区域和第二力敏感区域 (272) 的所述磁场, 所述改变指示所施加的力。

## 用于轴的分区磁编码及用于测量旋转角、旋转速度和转矩 的方法和设备

[0001] 相关申请

[0002] 本发明和与此同时提交并通过引用全部结合于本文的共同转让给本发明同一受让人的题为“Method and Apparatus for Continuous Sectional Magnetic Encoding to Measure Torque on Large Shafts”的美国专利申请 No. \_\_\_\_\_ (代理人档案号 No. 242587-1) 相关。

### 技术领域

[0003] 本发明一般涉及轴的磁编码，并且更具体地说，涉及用于确定特别是大轴上的旋转角、旋转速度、弯曲力矩和转矩中一项或多项的轴分区编码的设备和方法。

### 背景技术

[0004] 由于不断增长的能量需求和降低自然资源消耗的期望，可持续能源（例如，风力涡轮机）正在得到广泛普及。

[0005] 典型的风力涡轮机包括位于高塔架的顶上的多个转子叶片，用于将风能转换成旋转能以便驱动主轴。主轴直接地或通过齿轮箱（变速箱）耦合到发电机。齿轮箱将低速风驱动旋转转换成驱动发电机发电所需的高速旋转。风力涡轮机还包含诸如塔架的结构支撑组件以及转子指向机构。

[0006] 风力涡轮机控制倾向于是复杂的，因为风速在强度和方向上都有波动。水平和垂直风切变、机械振荡和横偏连同自然风涡流和塔架移动也引起转子叶片上的动态且不对称的负荷。这些负荷被转移到旋转的主涡轮机轴，在此它们表现为力或弯曲 / 扭转 / 转矩力矩。特别是，这些负荷生成大转矩、弯曲力矩、扭转力矩、应力和应变力。对于风力涡轮机，轴转矩还可具有由在电网和涡轮机控制系统上流动的电流引起的动态分量。这些动态分量从设计、控制和可靠性角度看也是所关注的。

[0007] 由这些操作条件施加的力有时称为负荷，还增加了由风力涡轮机累积的疲劳循环数。这种负荷和疲劳循环可导致过早的系统失效、操作无效率，并且损坏风力涡轮机组件。

[0008] 为了确保可靠而有效率的操作，风力涡轮机控制系统应该准确测量作用在轴上的力和弯曲 / 扭转 / 转矩力矩，并控制风力涡轮机系统的一个或多个操作参数，诸如叶片节距、每秒转数和 / 或偏转角，以限制这些力。为了恰当而安全地操作风力涡轮机，还需要准确测量轴的旋转速度和轴位置（即，轴上固定点与轴外固定点的角度）。在比较长的周期上必须保持这些测量的准确性。风力涡轮机控制也变得更复杂了，因为风力涡轮机大小和能量输出增大了。除了使用这些测量值控制风力涡轮机之外，测量值还可用在风力涡轮机设计中。

[0009] 为了解决使用旋转轴的任何设备的设计和操作，期望测量在轴表面的任何外部力引起的变形。这些测量可用于在数字上确定弯曲 / 扭转 / 转矩和力矩以及施加在轴上的其它力。

[0010] 常规轴控制技术采用若干不同的传感器和 / 或系统来感测或测量这些力和轴操作参数。这些传感器包含但不限于应变计系统、编码器 / 齿 (tooth) 系统、声波系统、弹性系统、磁致伸缩系统和磁致弹性系统。这些系统中的每个都具有某些特性和应用以及特定优点和缺点。

[0011] 嵌入在轴中或附连到轴上的应变计提供局部轴应变测量。这些应变计需要电耦合到旋转轴, 即物理连接 (例如, 滑环) 或无线连接, 并且产生的信号具有比较低的信噪比。应变计还遭受低稳定性、受限带宽, 并且倾向于需要经常校准。应变计的受限操作温度范围将它们的使用限制在严酷环境中。还有, 在高功率应用中具有大直径轴的应用中, 应变计在短期使用后可能由于施加在轴上的大应力而失效。由此, 应变计很少用在商业动力系设备中。

[0012] 编码器 / 齿轮转矩传感器需要诸如通过磁齿轮与旋转轴进行一些机械交互。但是齿轮设计倾向于成本高, 并且对于许多应用是不实际的。这种设计对于较高速应用是不实际的, 在严酷环境下有可靠性问题, 并且即便稳定, 也缺乏高分辨率。

[0013] 声波系统利用安装在轴上用于测量轴应变的传感器, 诸如表面声波 (SAW) 和体声波 (BAW) 传感器。滑环或无线系统需要携带向外部检测器指示轴变形和施加在轴上的力的信号。

[0014] 弹性转矩系统通过测量部署在轴长上的标记的角度移来测量轴的扭转。这个系统对于大直径轴可能不够准确, 并且可能具有实际实现问题。

[0015] 还采用靠近传感器测量轴弯曲力矩。这些传感器需要刚性参考 (即, 刚性支撑结构), 并且对于支撑结构变形和传感器漂移是脆弱的, 导致测量值的误差。由于主轴系统是刚性的, 因此在测量上的、诸如 0.1mm 的小偏移误差对应于弯曲力矩分析上的高误差, 例如 200kNm 的误差。这些误差可引起轴控制系统的不正确操作。

[0016] 轴位置可通过采用光栅的角编码器确定。轴在安装前被编码, 并且编码区域被检测以确定轴位置。但是这些传感器在脏环境下易于污染和失效。

[0017] 如 NCT Engineering GmbH. (Erlenhof-Park. Inselkammerstr. 10, 82008 Unterhaching, 德国) 所描述的磁轴力传感器及其它都不能以成本有效方式施加到大轴, 例如在轴直径大于大约 200mm 的情况下, 因为对轴进行编码需要高功率。

[0018] 测量施加在轴上的力的另一种方法基于铁磁轴材料上或施加到或形成在轴中的铁磁材料区域上的磁致伸缩效应。磁致伸缩测量基于材料被磁化时改变尺寸的现象。对于某些材料, 磁致伸缩效应是非常小的。

[0019] 常规磁致伸缩转矩传感器包括生成高频磁场的初级线圈和测量所得到场的磁通量的次级线圈。从所有次级线圈测量的总通量指示是否存在转矩。这种方法不需要对轴进行编码。

[0020] 典型的磁致伸缩系数形式为  $\Delta 1/1$ , 在  $1 \times 10^{-6}$  到  $25 \times 10^{-6}$  左右。使用直接 (即, 没对铁磁材料编码) 的磁致伸缩效应测量铁磁材料大轴上的转矩是昂贵的, 需要复杂的传感器布置、困难的校准程序, 并且通常导致测量具有受限的准确性。

[0021] 然而, 通过将磁致伸缩效应与磁编码轴或施加到轴的磁编码区域组合, 磁致伸缩效应可有利地用于改进准确性并降低安装成本。通过在轴制造期间或在轴安装之后让电流通过轴或材料区域, 对轴材料或材料区域编码。当施加到适当材料时以及当由具有足够高的电流密度的电流创建时, 编码是永久的。

[0022] 编码电极电耦合到轴以支持电流从一个或多个输入电极通过轴区域流到一个或多个输出电极。电流感应在轴内创建磁极化编码区域的磁场。当编码的电流和所得到的编码磁场施加到铁磁材料时,磁畴之间的边界移位,并且磁畴旋转。这两个效应都沿磁轴线改变材料的尺寸。优选地,放置编码电极以在轴上创建多个均匀磁区域。

[0023] 相反地,当遭受机械力或弯曲 / 扭转 / 转矩力矩时,材料的一个或多个磁参数改变。特别是,这些力改变了材料属性,并且又引起磁场外部组件的改变。磁场中的这些改变可由磁致伸缩传感器(例如,磁门传感器)检测。

[0024] 典型的磁致伸缩转矩传感器采用总轴编码,其中磁化由轴向电流沿轴流动创建。编码在周界上是均匀的(周界均匀),因为磁编码需要磁化整个横截面。为了创建这些均匀周界磁区域,多个电极被部署在轴周围的环状阵列中,并且电流被同时施加到所有电极。通过将电流定向成在轴向方向中、沿轴从输入电极流到输出电极来创建磁化(即,对轴进行编码)。

[0025] 然而,诸如风力涡轮机轴(以及燃气涡轮机轴)的大直径轴通常不服从上面刚刚描述的常规磁编码技术。这些技术适合于比较小直径的轴,但是随着轴直径的增大,对轴进行磁编码所需的电极数增大,并且每个电极携带的所需电流也增大。例如,对于每个电极对(一对包括输入电极和输出电极)可能需要几百安培的电流。为了准确的转矩检测(或检测施加在轴上的任何力),编码必须创建周界上均匀的磁场;在大直径轴上实现是困难而高成本高的努力。不利的是,不能根据周界上均匀的磁场确定轴的旋转速度。

[0026] 不均匀的磁场由轴的电属性和磁属性的非同质性引起。另外,电流通常供给为特别成形的电流脉冲,需要复杂的电子电路来支持高电流。对于所有这些原因,施加到大直径轴的周界上均匀的编码方案倾向于实现起来困难并且非常昂贵。

[0027] 参考图 1-4 描述了现有技术磁致伸缩编码和感测的示例。参考图 1,轴 5 包括铁磁材料。分隔开的环状电极 10 和 15 绕轴周界部署,以对电极 10 与 15 之间的轴区域 20 编码。电极 10 和 15 都与轴电接触。将电极分隔开倾向于在区域 20 内创立均匀磁通密度,由此创建周界均匀编码的区域。磁通密度的均匀性还取决于几个其它因素,包括轴直径。诸如电极 10 和 15 的附加电极对(未示出)沿轴轴向部署以对附加区域编码从而检测施加在其它轴段的力。

[0028] 在编码过程期间,电流脉冲 25 施加到电极 15,以沿轴 5 的纵轴并在区域 20 内建立电流流动 30。在沿区域 20 流动之后,电流由电极 10 接收以产生输出电流 35。流过编码区域 20 的电流感应对齐磁畴的磁场。轴区域的永久磁化需要那个区域内的高电流密度。

[0029] 如上所述采用轴永久磁化的所有磁场传感器技术都检测由永久磁化引起的外部可测量磁场。这些磁场传感器还检测由弯曲 / 扭转 / 转矩和其它力引起的磁场的改变。这些力改变材料的磁导率,由此改变材料中磁场的某方面,并还改变外部磁场。根据未改变场的几何形状和施加的力的性质,力可改变该场的方向或该场的强度(即,场强度或磁通密度中的改变之一)或二者。

[0030] 一般来说,在本技术中常见的是,改变的磁场是指包含磁场强度或磁通量改变的磁场。失真的磁场典型地是指仅在磁场的方向改变。

[0031] 当轴 5 在操作时,靠近旋转轴 5 安装的传感器线圈 45(图 2 中仅示出一个)感测磁场,并产生表示那个场的信号。没有施加应力或转矩,传感器不检测任何磁场失真或改变。

这种传感器典型地呈现方向性特性,因为单轴传感器不能区分方向和强度上的改变。

[0032] 传感器线圈 45 包括磁门传感器或其它磁场传感器,诸如线圈传感器、电感传感器或霍尔效应传感器。

[0033] 当转矩施加在轴 5 或轴 5 的区域上时,从编码区域 20 涌现的改变的磁场由传感器线圈 45 检测。传感器线圈 45 典型地耦合到用于分析和显示磁场失真和改变并用于指示施加的力(特别是包含转矩)的电子处理组件。

[0034] 如上所述和图 1 和 2 中例证的现有技术系统采用轴向电流流动来创建均匀的周界均匀的轴磁化。这个技术需要磁化整个轴周界,并因此对于较大直径轴是不实际的,因为这些轴需要大编码电流来产生足够的磁通密度来在轴中创建永久且均匀的磁区域。虽然技术上可行且可能,但是对这些大电流的需要使得对于大直径轴实现周向中的均匀电流分布和密度很昂贵。由此,这个编码方案典型地局限于直径在近似 200mm 以下的较小轴。

[0035] 为了减轻与大直径轴相关联的顾虑和随之产生的对大电流的需要,一个已知技术使用到轴 5 的多个电连接,如图 3 所示。分隔开的环 50 和 55 部署得靠近轴 5,并且与轴 5 绝缘,其中每个环 50/55 都具有附连到轴 5 的多个电导体 60。供给到环 50 的输入电流 65 流过导体 60,然后轴向通过区域 80,并通过环 55 涌现。流过区域 80 的电流产生多个磁化区域 75(图 3 中仅示出一个)。

[0036] 图 3 的复杂编码布置相对轴直径需要环 50 与 55 之间的间隔小。否则,周界方向的充分均匀的磁化不可实现。环 50 与 55 之间的较大间隔增大了区域 80 的长度,这在许多应用中引起实现问题和附加费用。此外,施加到电导体 60 的各个电流必须都具有相同的幅度,在较大直径轴中需要精确控制和相当大的费用来实现。

[0037] 共同拥有的专利申请公布 2009/0301223(申请号 12/134,689)描述了用于大直径轴的又一编码方案,并对其要求专利保护。这个专利申请公布通过参考结合于本文中。图 4 描绘了具有磁极化编码区域或由编码结构 210 形成的通道的轴 205。轴 205 的材料包括铁磁材料或附到轴 205 上的铁磁材料。交替的导电构件 215 和 217 沿轴 205 的一部分轴向定位,并由不导电框架 212 支撑。构件 215 和 217 部署得靠近轴 205,在每个构件 215 和 217 与轴 205 的表面之间有间隙。正编码导电构件 215 与负编码导电构件 217 交替。

[0038] 每个导电构件 215 的第一端耦合到编码源或电流源 250(图 4 中仅例证一个)的正端子,并且第二端经导体 242、在电极 218 处耦合到轴 205。编码源 250 的负端子耦合到部署在轴 205 上的电极 247。

[0039] 每个导电构件 217 的第一端耦合到编码源或电流源 252(图 4 中仅例证一个)的负端子,并且第二端经导体 243、在电极 220 处耦合到轴 205。编码源 252 的正端子耦合到部署在轴 205 上的电极 248。

[0040] 来自每个导电构件 215 的电流在沿路径 245 所指示的方向穿过轴 205,以在轴 205 上生成正磁极化通道 260(图 4 中仅示出一个)。类似地,来自每个导电构件 217 的电信号在沿路径 249 所指示的方向穿过轴 205,以在轴 205 上生成负磁极化通道 262(图 4 中仅示出一个)。路径 245 和 249 的电流流动方向处于相反方向,并由此,在磁化通道 260 和 262 内磁畴被相反极化(正或负)。

[0041] 当轴 205 操作时,由正磁极化通道和负磁极化通道 260 和 262 产生的磁场具有期望的形状,并且由传感器(图 4 中未示出)检测。当转矩或另一个力作用在轴 205 上时,由

通道 260 和 262 产生的磁场被改变或失真。传感器检测这些改变并对其响应，指示在轴 205 的编码区域（即包含通道 260 和 262 的区域）内存在力。

[0042] 参考图 4 描述的技术可被认为是一种分区磁编码形式，因为仅区域（分区）或通道 260 和 262 被编码。根据轴上编码分区的定向，这个技术可能能够测量旋转角、旋转速度和施加在轴上的力，包括弯曲 / 扭转 / 转矩力。但这个技术局限于仅测量或检测轴上各个转矩敏感区（即，编码区域）上的这些参数。当轴被分区编码时，连续转矩测量仅可能通过在轴上安装磁场传感器使得传感器同轴一起旋转。随着传感器的旋转，它连续测量所关注的参数。但需要传感器与轴一起旋转对系统增加了复杂性，需要滑环或无线数据传输系统和无线电源或电池。

[0043] 对于旋转轴已经使用多种过程和系统来提供准确而可靠的测量能力，其中一些已经在上面描述了。然而，需要不断改进，特别是对于较大直径轴，并且期望在操作效率上增强。本发明给出用于分区编码轴的新且非显而易见的技术以及分区编码区域的模式，以测量施加在轴上特别是大直径轴上的力。编码区域的模式可还允许同时确定轴的旋转角和旋转速度。

## 发明内容

[0044] 本发明的第一实施例包括磁螺旋编码轴。该轴包括：第一带，包括与具有第二磁极性的第二磁编码区域交替的、具有第一磁极性的第一磁编码区域；第二带，包括与第一磁编码区域交替的第二磁编码区域，其中，第一带与第二带分隔开，以使得第一带中的第一磁编码区域与第二带中的第二磁编码区域相对，并且第一带中的第二磁编码区域与第二带中的第一磁编码区域相对，磁场存在于第一磁编码区域与第二磁编码区域之间的每个力敏感区域之上；其中，第一带和第二带以螺旋形状部署在轴的周界周围；以及轴与用于检测力敏感区域中的磁场的第一固定磁场传感器一起使用，其中，可响应于检测的磁场确定旋转速度、轴旋转位置、弯曲力矩和转矩中的一个或多个。

[0045] 另一个实施例包括一种磁螺旋编码轴和磁场检测系统读出系统。这个实施例包括：螺旋环绕轴的第一磁编码带、第二磁编码带、第三磁编码带和第四磁编码带，每个带包括与具有第二磁极性的第二磁编码区域交替的、具有第一磁极性的第一磁编码区域；定义在相继第一磁编码区域与第二磁编码区域之间的每个带中的第一死区、第二死区、第三死区和第四死区；第一带和第二带由第一距离分隔开，并且第三带和第四带由第一距离分隔开，在第一带与第三带之间以及第二带与第四带之间的第二距离大于第一距离；在第一带和第二带中第一磁编码区域与第二磁编码区域相对，并在其间定义第一力敏感区域；在第三带和第四带中第一磁编码区域与第二磁编码区域相对，并在其间定义第二力敏感区域。

[0046] 在本发明的这个实施例中，在第三带和第四带中第一力敏感区域相对第一死区和第二死区分隔开，而在第一带和第二带中第二力敏感区域相对第三死区和第四死区分隔开。靠近轴安装的传感器检测围绕第一力敏感区域和第二力敏感区域的磁场，其中，施加在第一力敏感区域和第二力敏感区域之一上或二者上的力改变围绕相应第一力敏感区域和第二力敏感区域的磁场，该改变指示所施加的力。

## 附图说明

[0047] 当结合附图阅读本发明的下面具体描述时,本发明可能更容易理解,并且其优点和用途更容易明白,附图中:

- [0048] 图 1-4 例证了用于轴转矩感测的现有技术磁致伸缩编码和感测系统。
- [0049] 图 5 例证了具有编码其上的磁道用于确定转矩和施加在轴上的其它力的轴。
- [0050] 图 6 例证了图 5 的磁道之一的磁区。
- [0051] 图 7 例证了用于形成图 6 磁区的设备。
- [0052] 图 8 例证了靠近编码轴的磁场的场线。
- [0053] 图 9 例证了两个磁道和指示与该磁道相关联的磁场的波形。
- [0054] 图 10 例证了在轴上编码的多个轴向磁道。
- [0055] 图 11 例证在轴上编码的多个磁道和与磁道的磁场相关联的波形。
- [0056] 图 12 例证了螺旋磁编码的带。
- [0057] 图 13 例证了轴上的多个磁道和用于测量磁道的磁场的传感器。
- [0058] 图 14 例证了指示来自图 13 的传感器所感测的磁道的磁场幅度的波形。
- [0059] 图 15 例证了其上编码有多个不同定向的磁道的轴。
- [0060] 图 16 指示轴上磁道的敏感度相对于力敏感区域的定向。
- [0061] 图 17 和 18 例证了其上编码有螺旋偏移轨道的轴。
- [0062] 图 19 和 20 例证了几个磁编码轨道簇。
- [0063] 图 21 例证了轴和图 19 和 20 的磁编码轨道相对轴的位置。
- [0064] 图 22 例证了轴和靠近其安装的传感器。
- [0065] 根据惯例,多种描述的特征未按比例绘制,而是绘制以强调与本发明有关的特定特征。在附图和文本的通篇,相似的附图标记表示相似元素。

## 具体实施方式

[0066] 在详细描述与分区磁编码轴以测量轴操作参数和施加在轴上的力有关的具体方法和设备之前,应该观察到,本发明主要在于元素和过程步骤的新颖而非显而易见性组合。为了不用本领域技术人员容易明白的细节模糊本公开,已经不太详细地给出了某些常规元素和步骤,同时附图和说明书更详细描述了与理解本发明有关的其它元素和步骤。

[0067] 给出的实施例不打算定义本发明的结构、元素或方法的限制,而是只提供示范构造。实施例是自由的而不是强制的,并且是例证性的而不是无遗漏的。

[0068] 本发明的多种实施例可检测转矩、弯曲力矩以及施加到轴的其它力中的一个或多个。多种实施例还可确定轴角位置和轴速度。

[0069] 可通过使用在轴中或在施加到轴的磁编码材料上创建的唯一磁编码区域来改进磁致伸缩测量系统的准确性。磁编码实质上将轴转变成感测系统组件,并在轴内和轴外部的磁场分量产生强磁电路。在外部磁场检测到改变或失真指示在轴上存在转矩或另一个力。检测磁场还可用于确定轴角位置、轴旋转速度。

[0070] 图 5 中描绘了轴 271 上的磁编码区域 270。编码区域 270 包括在两个带或环中部署在轴 271 周界周围的四个磁编码轨道或磁编码区域 272、274、276 和 278。轨道的第一带或环包括交替的轨道 272 和 276,并且轨道的第二带或环包括交替的轨道 274 和 278。轨道 272 和 276 用交替轨道 272 与 276 之间的间隙或死区 280 形成。轨道 274 和 278 用交替轨

道 274 与 278 之间的间隙或死区 282 形成。间隙 273 部署在轴向对齐的轨道 272 与 274 之间，并且间隙 277 部署在轴向对齐的轨道 276 与 278 之间。间隙 273 和 277 定义转矩敏感（以及对具有通过这些区域的一个或多个力矢量分量的其它力敏感）的区域，如下所述。

[0071] 轴 271 的典型材料包括标准的钢合金，诸如 34CrNiMo8。适合使用的其它材料包括：1. 272150NiCr13、1. 4313X 4CrNi13-4、1. 4542X5CrNiCuNb16-4 和 30CrNiMo8。

[0072] 每一个轨道 272、274、276 和 278 都包括多个磁编码区 A、B、C、D 等，如在图 6 的示范性轨道中所例证的。

[0073] 四个轨道或编码区域 272、274、276 和 278 以及它们的构成的磁编码区由包括四个分隔开的电极 300、302、306 和 308 的电极阵列形成，如图 7 中所例证的。电极 300 和 302 轴向对齐，并且电极 306 和 308 轴向对齐；电极 300 和 302（其形成编码区域 272 和 276）在周界上与电极 306 和 308（其形成编码区域 274 和 278）有位移。所有电极 300、302、304 和 306 都分开固定距离，并且作为单元移动。根据本发明的教导，这个电极阵列或另一个近似隔开和定向的电极阵列可用于编码任何期望形状的磁极化区 / 轨道。

[0074] 电极 300 和 302 在相应接触点 300A 和 302A 与轴 271 物理接触。电极 306 和 308 各包括三个分段：直立分段 306A/308A、切向分段 306B/308B 和直立分段 306C/308C。直立分段 306A/308A 不与轴 271 接触；切向分段 306B 和 308B 不与轴 271 接触；只有在直立分段 306C/308C 的端子端的接触点 306D/308D 与轴 271 接触，或者至少紧密靠近轴 271。

[0075] 为了形成轨道 272 和 276，即为了对轴 271 编码，将电流脉冲从编码源 309 的正端子供给到电极 300，电流在接触点 300A 退出电极 300，流过轴 271 的区域 271A，进入并流过直立分段 306C，流过切向分段 306B，通过直立分段 306A，并到编码源 309 的负端子。这个电流流动在每一个轨道 272 和 276 中形成磁极化或编码区 A、B、C、D 等之一，如图 5 中所例证的。区由对齐轴材料的磁畴即磁化轴材料的电流形成。

[0076] 形成包括轨道 274 和 278 的磁极化区与形成包括轨道 272 和 276 的区同时进行。由电流脉冲从编码电流源 310 的正端子流到直立分段 308A，通过切向分段 308B，通过直立分段 308C，通过轴区域 271B 到接触点 302B，向上通过电极 302 并到编码源 310 的负端子，形成轨道 274 和 278 的磁极化区。从编码源 309 供给脉冲与从编码源 310 施加脉冲同时进行。

[0077] 在形成每个区（例如，区 A）之后，由阵列支撑结构机械支撑并作为单元移动的电极 300、302、306 和 308 作为单元在周界上步进到另一个位置，并且再次施加电流脉冲。这个过程创建另一个磁编码区，例如用于每一个磁道 272、274、276 和 278 的区 B。由此，在每个电流脉冲创建各个区 A、B、C、D 等之后，施加一系列电流脉冲，并在周界上步进电极。区相隔大约 0.5mm。由于磁区略大于步大小，因此磁区融合或归并以形成磁道或编码区域 272、274、276 和 278。轨道 272、274、276 和 278 也称为分区轨道或分区编码区域，因为每个都包含轴 271 的分区。

[0078] 流过轴 271 的电流方向（即，从一个电极进入轴并在另一个电极从轴出去）确定编码区的磁极化（即，磁场线的方向）、由那些区形成的轨道以及轴周围区域的磁极化。

[0079] 最大切向（或轴向）正磁场强度的位置在图 5 中由空着的或空白的椭圆形指示。最大切向（或轴向）负磁场强度的位置由加黑的椭圆形描绘。在多种给出的实施例中，最大正磁场强度的区域可与最大负磁场强度的区域交换，而不脱离本发明的范围。术语正 /

负磁场强度反映磁场线的方向,例如,正磁场强度是指沿轴 271 指向右边的场线,而负磁场强度是指沿轴 271 指向左边的场线。然而,这个定义对于恰当操作本发明并不需要。

[0080] 轨道 272 及其各个区 A、B、C、D 等形成在电流脉冲进入轴 271 的地方,并且轨道 276 及其构成的区 A、B、C、D 等形成在电流脉冲退出轴 271 的地方。同样,编码区域 274 及其各个区 A、B、C、D 等形成在电流脉冲退出轴 271 的地方,并且轨道 278 及其构成的区 A、B、C、D 等形成在电流脉冲进入轴 271 的地方。

[0081] 在一个实施例中,电极 300、302、304 和 308 的阵列在大约 20 到 50 步之间移动大约 30mm,形成类似数量的编码区 A、B、C、D 等。还有,轴的周长确定分段 306B 和 308B 是直线的还是弯曲的。对于较大直径(并且因此是较大周长)轴,例如大约 730mm 的直径,长度大约 30mm 的直线分段 306B 和 308B 是满意的。但是具有大约 60mm 直径的轴需要使用切向弯曲的分段 306B 和 308B。

[0082] 图 8 是通过轴 271 轴向横截面视图、其中形成了磁极化轨道 272 和 274 的部分以及两个轴向对齐的电极 300 和 302。由此,图 8 中例证的视图由通过轨道 272 和 274 的平面和轴 271 的轴线定义。描绘了轨道 272 和 274 以及围绕每个轨道的磁场线 279。还包含了磁极(北(N)和南(S))的参考。具有相同特性的磁场在每个磁极化轨道或区域(即,具有在左边是正磁极化区域而在右边是负磁极化区域的定向的轨道或区域)进行重复。这是本领域技术人员已知的,磁场是三维的,图 8 中只例证了二个维度。

[0083] 轨道 276 和 278 出现在周界上与图 8 的平面移位的另一视图(未例证)中。然而,对于轨道 276(在左边)和轨道 278(在右边),场有向箭头与图 8 描绘的相反。

[0084] 与本发明一起使用的磁场传感器(或磁场扫描器或者传感器或扫码器阵列)对于除轴向方向的分量以外的所有磁场分量都是“盲的”。由此,场传感器对于由图 8 中的附图标记 303 标识的轴向或切向场分量最敏感。与本发明一起使用的传感器的非限制性示例可包含霍尔效应传感器、磁场传感器、具有空芯的传感器线圈、磁门传感器、各向异性磁致伸缩传感器、巨磁电阻(GMR)传感器。磁场传感器的附加非限制性示例包含:磁门磁力计、搜索线圈、光纤磁力计、光泵磁力计、SQUIDS 和核旋进磁力计。

[0085] 处理测量的磁场典型地由处理器(未示出)执行。处理器还配置成基于感测的磁场计算多种轴参数,诸如角速度、角加速度、角位置、转矩、弯曲力矩、扭转力矩和施加在轴上的其它力。本发明的实施例不限于用于执行与本发明相关联的处理任务的任何具体处理器。术语“处理器”作为本文使用的术语打算指能够运行执行与本发明相关联的任务所必需的核算或计算的任何机器。该术语还打算指能够接受结构化输入并根据规定规则处理那个输入以产生输出的任何机器。应该注意,本文所用的短语“配置成”意思是处理器配备有用于执行本发明任务的硬件和软件元素的组合,如本领域技术人员所理解的。

[0086] 图 9 例证了两个磁极化编码轨道或区域例如 272 和 274 以及表示与每一个轨道 272 和 274 相关联的磁场磁通密度的波形,如在图 9 下部分所例证的。如所看到的,磁通密度在 0 电平从左边靠近轨道 272 并且增大,直到在轨道 272 的中间达到正最大。磁通密度下降,退出轨道 272,直到在轨道 274 的中间达到负最大。磁通密度在向右退出轨道 274 时增大,并且返回到 0 电平,因为磁通密度随着距轨道 274 的距离的增大而下降。轨道 272 左边和轨道 274 右边的正号指示磁通密度在那些区域增大。两个轨道 272 与 274 之间的负号指示磁通密度在那个区域下降。由此,轨道 272 和 274(以及未例证的轨道 276 和 278)指

示最大磁场磁通密度的区域,具体地说是在相对于轴 271 的轴向方向中。

[0087] 在图 9(以及本申请中的其它图)中,最大切向(或轴向)正磁场强度的位置由空着的或空白的椭圆形指示。最大切向(或轴向)负磁场强度的位置由加黑的椭圆形描绘。在多种给出的实施例中,最大正磁场强度的区域可与最大负磁场强度的区域交换,而不脱离本发明的范围。如参考图 7 所例证的,术语正和负反映磁场线的方向,也就是说,正磁场强度指的是指向右边的场线,而负磁场强度指的是指向左边的场线。

[0088] 返回图 7 的电极阵列,编码电流源 309 典型地可生成从几百安培到几千安培的单极脉冲(正向的或负向的),其中脉冲长度大约 0.1-100 毫秒。在典型的示范性应用中,脉冲持续时间为大约 1 毫秒,其中电流大约 500A,并且轴直径大约 730mm。电流渗透的深度和轴 271 中的电流密度由电流脉冲的持续时间控制。

[0089] 编码源 309 和 310 可包括电容器组(即,通过电阻器给电容器放电)、脉冲发生器或生成单极电流脉冲波形的功率电子装置。因为电流脉冲是短的,因此它们的特征在于它们的高频内容。

[0090] 在一个实施例中,轨道 272 与 274 之间和轨道 276 与 278 之间的轴向距离为几毫米到大约 1 厘米。相应轨道 272/274 与 276/278 之间的区域 273 和 277 对施加在那个区域的转矩是敏感的。

[0091] 电极 300 与 306 之间的距离,其与电极 302 与 308 之间的距离相同,确定可在由电极 300 和 302 创建的区被由电极 306 和 308 创建的区改写之前形成的磁极化区的数量。为了避免这种改写,在编码跨越近似等于电极 300 与 306 之间距离(或电极 302 与 308 之间距离)的距离的每一个轨道 272 和 274 的多个磁区之后,电极阵列必须在周界上移动跨越的距离。这种移动防止在写继续以形成附加轨道 272 和 274 时改写之前写的轨道 276 和 278。

[0092] 例如,在一个实施例中,电极 300 和 306(以及电极 302 和 308)分隔开大约等于轴周长一半的距离。这个轴然后可在轴半旋转即旋转 180 度期间被编码。

[0093] 通过合作激活步进电机以在周界上(或轴向)移动电极阵列支撑结构,旋转轴 271,和 / 或多轴向激励电极阵列支撑结构,可在轴 271 中创建电极几何形状极限内的任意磁化图案。

[0094] 例如,如果步进电机沿轴 271 在轴向方向步进电极对 300/302 和 306/308,没有绕其轴线旋转轴,则在轴 271 中形成轴向磁化的轨道,如图 10 中所示。轴向轨道 321 和 324 由相应电极 300 和 302 形成,因为电极沿轴 271 轴向步进。与形成轨道 321 和 324 同时进行,由相应电极 306 和 308 形成轨道 322 和 323。在形成四个轴向轨道 321、322、323 和 324 之后,轴 271 旋转,并且通过再次在轴上轴向步进电极 300、302、306 和 308 再在轴中形成四个轴向轨道。如果轴旋转 360 度,则在其整个周界上对该轴进行编码。

[0095] 如果电极对 300/302 和 306/308 在周界上步进以创建四个轨道(也就是说创建形成四个轨道的区),之后轴旋转或者电极阵列在周界上移动,则可形成四个附加轨道。过程可继续以形成完全围绕轴 271 周界的轨道。参见图 5。

[0096] 在又一实施例中,步进电机可沿其多个轴线中的任一个移动电极阵列支撑结构,同时轴 271 保持固定不动,或者步进电机可移动,并且轴 271 旋转以创建任何期望的磁极化或编码图案的轨道。

[0097] 如果在每个磁道形成之后步进电机被激活并且轴旋转,则轨道相对于轴 271 的旋

转轴线形成一个角度。由此,轨道形成螺旋图案,如图 11 和 12 中所例证的,包括轨道 326、327、328 和 329。这些轨道可通过图 7 中例证的四个电极阵列的适当运动连同轴 271 的旋转形成。

[0098] 图 11 中轴 271 下面的波形例证了可根据图 11 的编码轨道图案确定的多种操作参数。分别由固定(即,它们不和轴 271 一起旋转)磁场传感器 352 所确定的磁场正峰值和负峰值 350A 和 350B 的位置指示轴角位置。峰值 350A 和 350B 移动的速度指示轴 271 的旋转速度。在场峰值 350A 与 350B 之间(即在轴 271 上的区域 353 内)检测的磁场与施加在那个轴区域内的转矩成比例。波形 355A 指示在区域 353 中不存在转矩;波形 355B 通过非转矩波形 355A 与转矩波形 355B 之间的分散而指示存在转矩。当机械转矩被施加到轴区域 353 时,那个区域的磁导率改变,磁场(磁通)改变,并且改变的磁场由磁场传感器 352 检测。

[0099] 图 13 指示磁场传感器 365 相对于轴 271 的周界磁极化轨道 272、274、276 和 278 的放置。传感器 365 部署成与轴 271 分隔开的关系,并且对区域 277 中的磁场的轴向分量敏感。这些轴向分量在图 8 中由附图标记 303 标识。传感器 367 部署在轨道 272 与 274 之间(区域 273 之内),并且对区域 273 内的轴向场分量敏感。

[0100] 在第一轴向方向具有从磁极化轨道 274 向轨道 272 延伸的力矢量的力增大了间隙区域 273 内的磁场。在与第一轴向方向相反的第二轴向方向的力具有相反效应,减小了间隙区域 273 内的场强度。

[0101] 与在上面结合图 11 例证的实施例一样,由磁场传感器 365 感测的改变的场强度与未改变的场(在施加转矩之前已经获取的未改变场的地图)进行比较,以揭示磁场中转矩或力引起的改变。

[0102] 通过首先校准磁场传感器 365 来确定转矩的适当数字测量以确定多种改变的磁场与多种已知施加的转矩之间的关系。当在操作期间检测到转矩时,根据磁场中检测的改变与转矩之间的单调关系(传递函数)来确定转矩的值。

[0103] 在一个实施例中,减去来自传感器 365 和 367 的信号以消除任何公模效应,诸如外部磁场。由于来自传感器 365 和 367 的应力相关信号具有相反符号,因此这些信号维持了减法运算。

[0104] 图 14 描绘了表示在外部测量的磁场的分量(例如,图 5 或图 11 的轨道图案的磁场分量)的波形或信号轨迹。可通过在轴向方向将图 13 的磁场传感器 365 移动通过图 5 的区域 272/273/274(或备选地通过图 5 的区域 276/277/278)来记录信号轨迹。备选地,可通过使用各个传感器的阵列(例如,图 11 的传感器阵列 352)来记录信号轨迹。图 14 轨迹包含表示通过感测区域的磁场的幅度的曲线 368(实线),因为在轴 271 上轴向扫描传感器,在扫描期间不存在转矩。正峰值 369 表示在第一轴向方向具有最高磁场强度的轴 271 上的区域,并且负峰值 370 表示在第二轴向方向具有最高磁场强度的轴 271 上的区域,第一轴向方向与第二轴向方向相反。

[0105] 曲线 372(虚线)表示区域 272/273/274 上的场。曲线 372 与曲线 368 在轴的转矩敏感区域(例如,图 5 中的区域 273 和 277)上具有看得出的差异。这个转矩敏感区域在图 14 中由圆圈和附图标记 374 指示。两个波形之间的差异表示由在轴区域 273 中存在轴向(即平行于图 5 的轴定向)力分量(例如,转矩的轴向力分量)引起的改变的磁场。指

向第一方向的轴向转矩力分量使曲线 372(指示存在转矩力)落到所关注区域 374 中的曲线 368 的左边;在与第一方向相反的第二方向中的转矩力分量使曲线 354 落到所关注区域 358 中的曲线 346 的右边。

[0106] 如果编码区域的定向从图 5 中例证的周界定向的区域改变到轴向定向的区域(例如,图 16 中的磁编码区域 400),则相应地改变编码区域内的力感测方向性。在这个后一配置中,如果传感器尚未从图 13 中的其定向(即,用检测轴向力分量的图 13 定向)重新定向,则传感器检测在轨道 400A 与 400B 之间的区域 400C 中具有轴向方向的分量的磁场中的改变。由于轨道 400A 和 400B 轴向定向,因此存在轴向力分量可能与施加在轴上的转矩不相关联。

[0107] 图 16 例证了施加在箭头 404 方向的示范性力。施加在图 16 的 XY 坐标系上任何方向的任何力都可分解成 X 方向的力和 Y 方向的力。如图 16 中描绘的坐标系所指示的,当如所示定向磁极化区域时,传感器对沿 Y 轴的力分量呈现低敏感度,并且对沿 X 轴的力分量呈现高敏感度。

[0108] 返回到图 15,它例证了在轴 410 中形成或施加到轴 410 的磁编码轨道的几个不同定向。区域 400 包括如所示定位的交替的正磁极化轨道和负磁极化轨道 400A、400B、400C 和 400D。转矩敏感区域 403 被部署在轨道 400A 与 400B 之间,并且转矩敏感区域 405 被部署在轨道 400C 与 400D 之间。如所示,在轴 410 上,轨道 400A 和 400C 轴向对齐,并且轨道 400B 和 400D 轴向对齐。

[0109] 图 15 还例证了包括交替的正磁极化区域和负磁极化区域的示范轨道 418A、418B、418C 和 418D;轨道 418A 和 418C 在周界上对齐,轨道 418B 和 418D 也一样。根据图 16 的力方向性敏感度地图,区域 419 和 421 对轴向力分量是高度敏感的。

[0110] 轨道 424A、424B、424C 和 424D 与描绘的坐标系的正 x 轴形成 135 度角。力敏感区域 425 和 426 如所示定位。

[0111] 轨道 427A、427B、427C 和 427D 设置成与 x 轴成 225 度角,具有所指示的力敏感区域 431 和 432。

[0112] 通过适当地操控图 7 的电极对 300/302 和 306/308 以及轴 410 的旋转,也可在轴 410 上形成在其它定向的其它轨道。

[0113] 图 15 中的箭头 440 和 448 指示由施加到轴 410 的一个或多个转矩力矩(或其它力)感应的示范力方向。施加到轴 410 的张力、压缩力、转矩和弯曲载荷由来自磁场传感器(或传感器阵列)指示由这些力所对应修改的感测的磁场的对应信号检测。由此,编码轨道的多种例证的定向允许检测从许多不同方向施加在轴 410 上的力。

[0114] 一般而言,需要两个周界带(例如包括轨道 418A 和 418C 的第一带和包括轨道 418B 和 418D 的第二带)和两个轴向带(例如包括轨道 400A 和 400C 的第三带和包括轨道 400B 和 400D 的第四带)来检测在任何方向施加在轴 410 上的所有力(如果第一和第二带垂直于第三和第四带的话)。

[0115] 三组四个带,每组绕轴在周界上间隔 120 度,可解析弯曲和转矩力矩。

[0116] 轨道 400A、400B、400C 和 400D 平行于轴 410 的旋转轴 411。如果转矩矢量分量在不平行于磁极化区域(并因此不平行于旋转轴 411)的任何方向通过区域 403 或 405,则这些轨道可检测施加到轴 410 的转矩。这些矢量分量改变了由区域 403 和 405 中的磁畴生成

的磁场，并由此改变了轴 410 上面的可测量外部场。另外，通过区域 403 和 405 中间（其中“中间”定义为平行磁极化区域之间的一半）的任何转矩分量产生磁场的最大改变。

[0117] 不能用轨道 400A、400B、400C 和 400D 的定向检测弯曲力矩，因为通过弯曲力矩施加的力平行于这些磁极化轨道的方向。参考图 16，这种弯曲力矩具有平行于 y 轴（并因此平行于磁极化轨道的方向）的力分量，其中磁极化轨道对力具有最低敏感度。

[0118] 轨道 418A、418B、418C 和 418D 正交于旋转轴 410，并且参考图 16，指示这是用于检测具有 X 轴分量的弯曲力矩的最优定向。

[0119] 轨道 424A、424B、424C 和 424D 和轨道 427A、427B、427C 和 427D 被最优定向以便检测转矩和弯曲力。沿轴线 450 的单向转矩改变了区域 425 和 426 中的磁畴，它们对沿轴线 450 的力具有高敏感度。这个转矩未改变或仅稍微改变区域 431 和 432 中的磁畴 (domain)，因为这个区域中的磁畴对沿轴线 450 的力具有低敏感度。

[0120] 沿轴线 455 的单向转矩改变了区域 431 和 432 中的磁场，并因此在磁场传感器中生成对应信号。沿轴线 455 的转矩未改变由区域 425 和 426 中的磁畴产生的磁场。一般而言，沿第一轴线（轴线 450 或 455）的任何力都改变沿第一轴线的磁场，同时沿垂直于第一轴线的第二轴线的磁场没有（或仅稍微）改变。

[0121] 图 17 中例证了另一个编码轨道或带图案。步进电机和具有如图 7 中所例证布置的四个电极的电极阵列形成轴 508 中的轨道 500、502、504 和 506。轨道之间的区域 509 对施加在轴 508 上具有通过区域 509 的力分量的力敏感。图 16 指示区域 509 的有向力敏感度。间隙 510 和 511 存在于相应轨道 500/504 与轨道 502/506 之间。力敏感区域 509 还具有与间隙 510 和 511 对齐的间断或间隙。也就是说，间隙 512 存在于力敏感区域 509 之间。当间隙 512 之一面对磁场传感器时，传感器不能感测磁场，并且因此不能检测施加在轴上具有间隙 512 内力分量的力。

[0122] 为了克服这个缺点并提供转矩和其它力的连续检测，与区域 500、502、504 和 506 轴向移位并在周界上位移大约一半的轨道长度，形成附加磁极化区域 500A、502A、504A 和 506A，如图 17 中所例证的。由此，当间隙 512 存在于磁传感器的感测范围内时，磁场传感器读出力敏感区域 509A 之一，以克服无法感测间隙 512 内的磁场。同样，当间隙 512A 存在于磁传感器的感测范围内时，磁场传感器读出力敏感区域 509 以克服无法感测间隙 512A 内的磁场。

[0123] 来自偏移区域 509 和 509A 的组合磁场信号提供了转矩或施加在轴 508 上的其它力的连续监控。

[0124] 图 18 例证了轨道长度接近 180 度长（即，跨越轴 600 一半周长）的实施例。正磁极化区域 604 和平行的负磁极化区域 608 形成或嵌入在轴 600 中。轨道 604 和 608 在周界上跟随有相应的间隙 612 和 614，间隙 612 和 614 在周界上跟随有正磁极化区域和负磁极化区域 624 和 620。区域 604/608 和区域 620/624 绕轴 600 跨越大约 180 度。

[0125] 与轨道 604、608、620 和 624 轴向移位形成附加的磁极化区域。这些轨道包括正磁极化轨道 634 和 638 以及负磁极化区域 642 和 650。相应轨道 630/638 之间和轨道 634/642 之间的间隙 650 和 652 与间隙 612 和 614 偏移。这个偏移值，在一个实施例中其大约 90 度，提供了施加在轴 600 上的任何矢量力分量（除平行于轨道 604、608、620、624、630、638、634 和 652 的分量（即，周界分量以外）的连续（即，绕整个周界）监控。一般而言，对于大直

径轴,轨道的角跨越将小于 180 度,但是这需要对轴上的附加轨道进行编码以形成在周界上完全环绕轴的闭环。

[0126] 要注意,从图 18 中的视图,隐藏了轨道 604/620、608/624、630/638 和 634/642 中的附加间隙。

[0127] 图 18 中所例证的使用四个轨道跨越 360 度(第一正磁极化轨道和负磁极化轨道跨越 180 度并且第二正磁极化轨道和负磁极化轨道跨越 180 度)只是示范性的。轨道可由任何任意长度形成以跨越所期望的任何角分段。轨道中的间隙,其刻画了从一个极性到另一个极性的转变,是确保可在轴的任何周界区域确定施加在轴上的任何力的偏移。

[0128] 为了创建图 18 的轨道需要两个轨道形成电极组部件,图 7 中例证了一个此类组部件。两个组部件(包括八个电极)轴向分隔开,并且同时激活以同时创建四个轨道,如本文描述的用于同时创建两个轨道的四个电极组部件。

[0129] 一般而言,在操作时,磁传感器感测来自在轴中编码的轨道的磁场。在一个实施例中,传感器相对于旋转轴固定不动,并且固定地安装到靠近轴的结构。

[0130] 仅一个传感器安装在轴的一侧上,施加在多种给出的实施例的任何转矩敏感区域中的转矩力不能与也将类似力(在方向上)施加在那个相同区域中的弯曲力矩区分开。还有,当仅采用一个传感器时,力感测系统不能将施加的力与环境磁场的改变区分开。

[0131] 图 19 例证了轨道簇 702,包括与相应轨道 712 和 713 对齐的相反极性轨道 706 和 707。力敏感区域位于轨道 706 与 707 之间,而另一个力敏感区域位于轨道 712 与 713 之间。未例证的两个传感器感测这些区域中每个中的磁场。图 20 例证了轨道簇 704,包括如所示布置的类似轨道 708、709、710 和 711。力敏感区域位于轨道 708 与 709 之间,而另一个力敏感区域位于轨道 710 与 711 之间。未例证的两个传感器感测这些力敏感区域中每个中的磁场。

[0132] 在一个实施例中,轨道阵列 702 和 704 部署在一般在图 21 中所例证的轴 724 的相对侧上。在操作中,磁场传感器生成表示轨道 706 与 707 之间、轨道 712 与 713 之间、轨道 708 与 709 之间和轨道 710 与 711 之间的磁场(即切向磁场)的信号。然后,信号作减法如下:从信号 712/713 减去信号 706/707 以生成第一合成信号,并且从信号 710/711 减去信号 708/709 以生成第二合成信号。第一合成信号和第二合成信号的和表示施加在轴 724 上的转矩。第一合成信号与第二合成信号之间的差表示施加在轴 724 上的弯曲力矩。

[0133] 应该注意,由轨道 706 与 707 之间的磁场生成的信号总是与由轨道 712 与 713 之间的磁场生成的信号互补,给定应力矢量在同一方向通过两个力敏感区域。

[0134] 在另一个实施例中,轨道 706/707 位于与轨道 712/713 的、轴的相对侧上。在这个实施例中,来自力敏感区域的信号具有与弯曲力矩相同的符号,因为应力矢量在轴的两侧上具有相反符号。信号具有相同的转矩力符号。

[0135] 理想上,为了获得表示转矩和弯曲力矩的最佳信号,优选为减去如上指示的两个信号,但这不是必须的。然而,这个减法的确有利地减少了任何公模信号的效应,并因此提供了更准确的结果。例如,使用这个差分分析抵消了外部磁场效应。

[0136] 尽管在图 19 和 20 中轨道 706、707、708、709、710、711、712 和 713 例证为相对于轴 724 的旋转轴包含,但是这个定向不是必须的。

[0137] 图 19 和 20 例证了比较短的磁道。然而,在另一个实施例中,这些轨道可做得更长,

并且可跨越一个大约 180 度的轴周界,如图 18 中例证的。

[0138] 图 22 描绘了轴 803 和两个相对放置的传感器 805 和 807。在两个传感器 805 与 807 之间跨越并包含轴的轴线的平面中的弯曲力矩在每个传感器生成信号,但是信号具有相反极性。由此,组合 / 相加两个信号有效地减去两个信号得到零结果。对于转矩,来自轴相对侧的两个信号都在幅度上增大或减小(取决于转矩的方向),并且组合 / 相加两个信号得出正(或负)总值。组合信号可求平均以确定施加在轴上的平均转矩。由此,需要至少两个传感器来区分弯曲力和转矩力。如本领域技术人员已知的,对于应力计传感器采用这些相同方法。

[0139] 一个实施例采用三个固定传感器,传感器绕轴的周界分别处于 0、120 和 240 度。优选地,轴用三个轨道簇编码,每个簇包括四个轨道,如图 19 和 20 中所例证的。这个实施例可解析弯曲和转矩力。

[0140] 在另一个实施例中,采用四个传感器,并将它们安装在 0、90、120 和 270 度,以及四个轨道分区,每个分区再次包括四个轨道,如图 19 和 20 中所例证的。这个实施例简化了将信号分解成笛卡尔坐标系,提供了更好地抵消任何外部磁场,并改进了区分弯曲力矩和转矩的能力。在弯曲力矩不能沿轴的全长施加(例如,因为牢牢地锚定了驱动轴支撑)的应用中,一个磁场阵列或扫描仪足够了。

[0141] 对于传感器安装在轴上并绕轴旋转的实施例,必须确定轴相对于固定不动的安装系统的定向以将旋转轴的 X 坐标和 Y 坐标转换成固定不动系统的 X 轴和 Y 轴。

[0142] 一般而言,轴的角度可由在轴的周围跨越 180 度的两个磁道之一的轴向位置确定。在采用如图 11 的螺旋轨道图案和固定传感器的实施例中,当磁场(部署在螺旋轨道上预定标记位置)中的峰值通过磁场传感器时,可确定轴旋转位置的检测。

[0143] 旋转速度可由截然不同的轨道特征(例如,磁场标记)的周界移动的速度或这些特征相继通过传感器之间的时间确定。通过使用在周界方向正交于轴轴线的第三非倾斜参考轨道,还可确定轴的轴向位置,以消除由轴的轴向位移引起的任何伪像(artifact)。可同时并在静态和动态操作条件(即,旋转轴或非旋转轴)下确定这些操作参数中的每个。

[0144] 本发明用一个仪器代替共同施加到旋转机器的几个监控仪器。因为本发明不需要对轴进行机械改变,因此本发明的实现成本比较低。另外,本发明提供了分区磁编码方案的某些优点,同时还提供了轴位置和轴速度信息。

[0145] 如上所述,使用在相对于第一图案位移的第二编码螺旋图案覆盖的第一螺旋编码图案中具有间隙的两个螺旋磁编码区域,可获得转矩的连续读出,其中两个磁场传感器以两个编码轨道为目标。

[0146] 因为本发明的分区编码方案,编码过程所需的电流、功率和电压与轴的直径无关。本发明的方法因此既适合于小直径轴(例如,60mm),又适合于大直径轴(例如,直径大约 750mm 的风力涡轮机低速轴)。

[0147] 通过绕轴对轴向对齐或倾斜编码分区的紧密间隔的图案编码,可在轴上编码虚拟磁齿轮,允许测量旋转速度。如果两个此类虚拟磁齿轮被分隔开某一距离编码,则所获取信号的相位差表示代表转矩的两个齿轮之间的轴的扭转。

[0148] 描述的多种实施例具有现有技术分区磁编码方案的所有优点,但重要的是,允许连续读出大直径轴的转矩,不管轴直径如何。连续方案使得能够连续读出从 DC 到高频的转

矩。相比之下,现有技术分区编码方案仅当传感器安装在轴上并与轴一起旋转时提供了连续转矩读出。但这个现有技术的技术,不像本发明中描述的改良,需要非接触无线数据和功率传输系统或滑环。没有这些非接触读出方案,现有技术系统仅每当轴的分区通过固定不动的传感器时提供转矩读出。这种方案未考虑连续转矩读出,并且属于受限用于受较高频率动态影响而影响的低速轴系统。

[0149] 尽管轴上的磁区域已经由本发明附图中的延长区域表示,但实际上,根据本发明可形成在电极设计和物理法则限制内的任意形状的磁区域。区域的形状取决于电极阵列的形状、对轴进行编码的电流脉冲流之间的轴或电极阵列的旋转运动、以及影响轴材料磁化的其它因素。

[0150] 虽然已经描述了目前认为是优选实施例的本发明的多种实施例,但是许多改变或修改对本领域技术人员将变得显而易见。从而,意图是,本发明不限于特定例证性实施例,而是在所附权利要求书的整个精神和范围内解释。

[0151] 尽管主要是参考风力涡轮机中的使用描述的,但是还可将本发明的编码技术和编码区域用于在任何大旋转机器中所用的轴,诸如电力涡轮机、电力发电机、涡轮机器、大电机、压缩机、运输驱动、船舶驱动等。

[0152] 本发明实施例的书面描述使用示例来公开包括最佳模式的本发明,以及还使本领域技术人员能制作和使用本发明。本发明可取得专利的范围由权利要求确定,且可包括本领域技术人员想到的其它示例。如果此类其它示例具有与权利要求字面语言无不同的结构要素或过程步骤,或者如果它们包括与权利要求文字语言无实质不同的等效结构要素或过程步骤,则它们规定为在权利要求的范围之内。

[0153] 部件列表

[0154] 5- 轴

[0155] 10- 电极

[0156] 15- 电极

[0157] 20- 轴区域

[0158] 25- 电流脉冲

[0159] 30- 电流流动

[0160] 35- 输出电流

[0161] 45- 传感器线圈

[0162] 50- 环

[0163] 55- 环

[0164] 60- 导体

[0165] 65- 输入电流

[0166] 70- 输出电流

[0167] 75- 磁化区域

[0168] 80- 区域

[0169] 205- 轴

[0170] 210- 编码结构

[0171] 212- 不导电框架

- [0172] 215- 构件
- [0173] 217- 构件
- [0174] 218- 电极
- [0175] 220- 电极
- [0176] 242- 导体
- [0177] 243- 导体
- [0178] 245- 路径
- [0179] 247- 电极
- [0180] 248- 电极
- [0181] 249- 路径
- [0182] 250- 编码源
- [0183] 252- 电流源
- [0184] 260- 正磁极化通道
- [0185] 262- 负磁极化通道
- [0186] 270- 编码区域
- [0187] 217A- 区域
- [0188] 271B- 区域
- [0189] 271- 轴
- [0190] 272- 轨道
- [0191] 273- 间隙
- [0192] 274- 轨道
- [0193] 276- 轨道
- [0194] 277- 间隙
- [0195] 278- 轨道
- [0196] 279- 磁场线
- [0197] 280- 死区
- [0198] 282- 死区
- [0199] 300- 电极
- [0200] 300A- 接触点
- [0201] 302- 电极
- [0202] 302A- 接触点
- [0203] 302B- 接触点
- [0204] 303- 轴向场分量或切向场分量
- [0205] 304- 电极
- [0206] 306- 电极
- [0207] 306A- 直立分段
- [0208] 306B- 切向分段
- [0209] 306C- 直立分段
- [0210] 306D- 接触点

- [0211] 308- 电极
- [0212] 308A- 直立分段
- [0213] 308B- 切向分段
- [0214] 308C- 直立分段
- [0215] 308D- 接触点
- [0216] 309- 编码电流源
- [0217] 309 编码源
- [0218] 310- 编码电流源
- [0219] 321- 轴向轨道 (2)
- [0220] 322- 轴向轨道
- [0221] 323- 轴向轨道
- [0222] 324- 轴向轨道 (2)
- [0223] 326- 轨道
- [0224] 327- 轨道
- [0225] 328- 轨道
- [0226] 329- 轨道
- [0227] 346- 曲线
- [0228] 350A- 场峰值
- [0229] 350B- 场峰值
- [0230] 352- 磁场传感器
- [0231] 353- 区域
- [0232] 354- 曲线
- [0233] 355A- 无转矩波形
- [0234] 355B- 转矩波形
- [0235] 358- 区域
- [0236] 365- 磁场传感器
- [0237] 367- 传感器
- [0238] 368- 曲线
- [0239] 369- 正峰值
- [0240] 370- 负峰值
- [0241] 372- 曲线
- [0242] 374- 区域
- [0243] 400- 编码区域
- [0244] 400A- 正磁极化轨道
- [0245] 400B- 负磁极化轨道
- [0246] 400C- 负磁极化轨道
- [0247] 400D- 负磁极化轨道
- [0248] 403- 转矩敏感区域
- [0249] 404- 箭头

- [0250] 405- 转矩敏感区域
- [0251] 410- 轴
- [0252] 411- 旋转轴
- [0253] 418A- 轨道
- [0254] 418B- 轨道
- [0255] 418C- 轨道
- [0256] 418D- 轨道
- [0257] 419- 力敏感区域
- [0258] 421- 力敏感区域
- [0259] 424A- 轨道
- [0260] 424B- 轨道
- [0261] 424C- 轨道
- [0262] 424D- 轨道
- [0263] 425- 力敏感区域
- [0264] 426- 力敏感区域
- [0265] 427A- 轨道
- [0266] 427B- 轨道
- [0267] 427C- 轨道
- [0268] 427D- 轨道
- [0269] 431- 力敏感区域
- [0270] 432- 力敏感区域
- [0271] 440- 箭头
- [0272] 448- 箭头
- [0273] 450- 轴线
- [0274] 455- 轴线
- [0275] 500- 极化区域
- [0276] 500A- 极化区域
- [0277] 502- 极化区域
- [0278] 502A- 极化区域
- [0279] 504- 极化区域
- [0280] 504A- 极化区域
- [0281] 506- 极化区域
- [0282] 506A- 极化区域
- [0283] 508- 轴
- [0284] 509- 力敏感区域
- [0285] 509A- 力敏感区域
- [0286] 510- 间隙
- [0287] 511- 间隙
- [0288] 511A- 间隙

- [0289] 512- 间隙
- [0290] 512A- 间隙
- [0291] 600- 轴
- [0292] 604- 正磁极化轨道
- [0293] 608- 负磁极化区域
- [0294] 612- 间隙
- [0295] 614- 间隙
- [0296] 620- 负磁极化区域
- [0297] 624- 正磁极化区域
- [0298] 630- 负磁极化区域
- [0299] 634- 正磁极化区域
- [0300] 638- 正磁极化区域
- [0301] 642- 负磁极化区域
- [0302] 650- 间隙
- [0303] 652- 间隙
- [0304] 702- 轨道阵列
- [0305] 704- 轨道阵列
- [0306] 706- 正极性轨道
- [0307] 707- 负极性轨道
- [0308] 708- 正极性轨道
- [0309] 709- 负极性轨道
- [0310] 710- 负极性轨道
- [0311] 711- 正极性轨道
- [0312] 712- 负极性轨道
- [0313] 713- 正极性轨道
- [0314] 724- 轴
- [0315] 803- 轴
- [0316] 805- 传感器
- [0317] 805- 传感器
- [0318] 807- 传感器

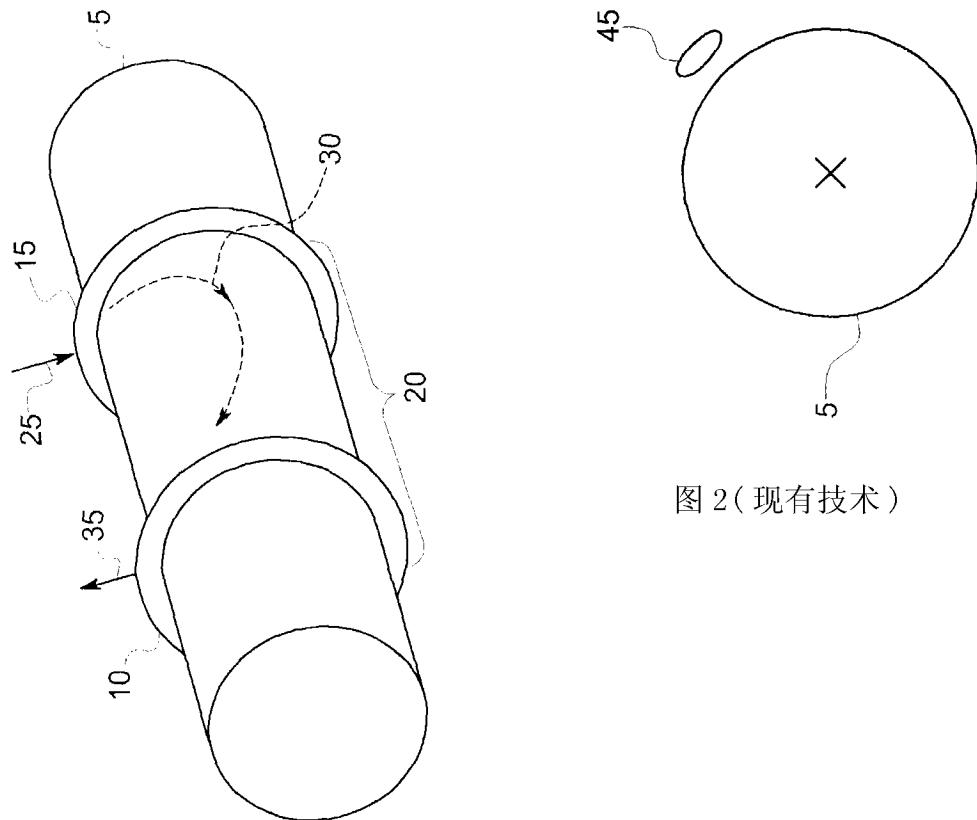


图 1(现有技术)

图 2(现有技术)

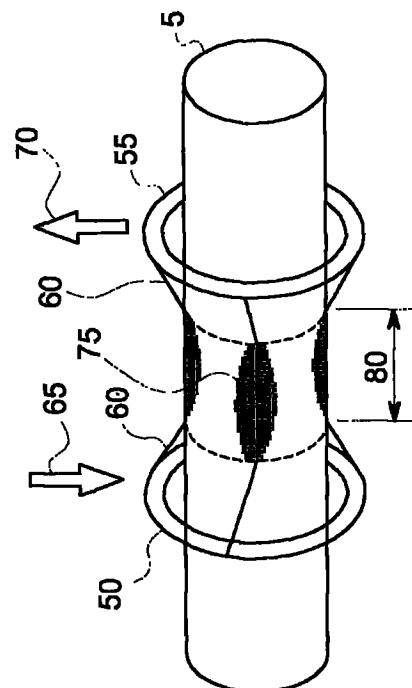


图 3(现有技术)

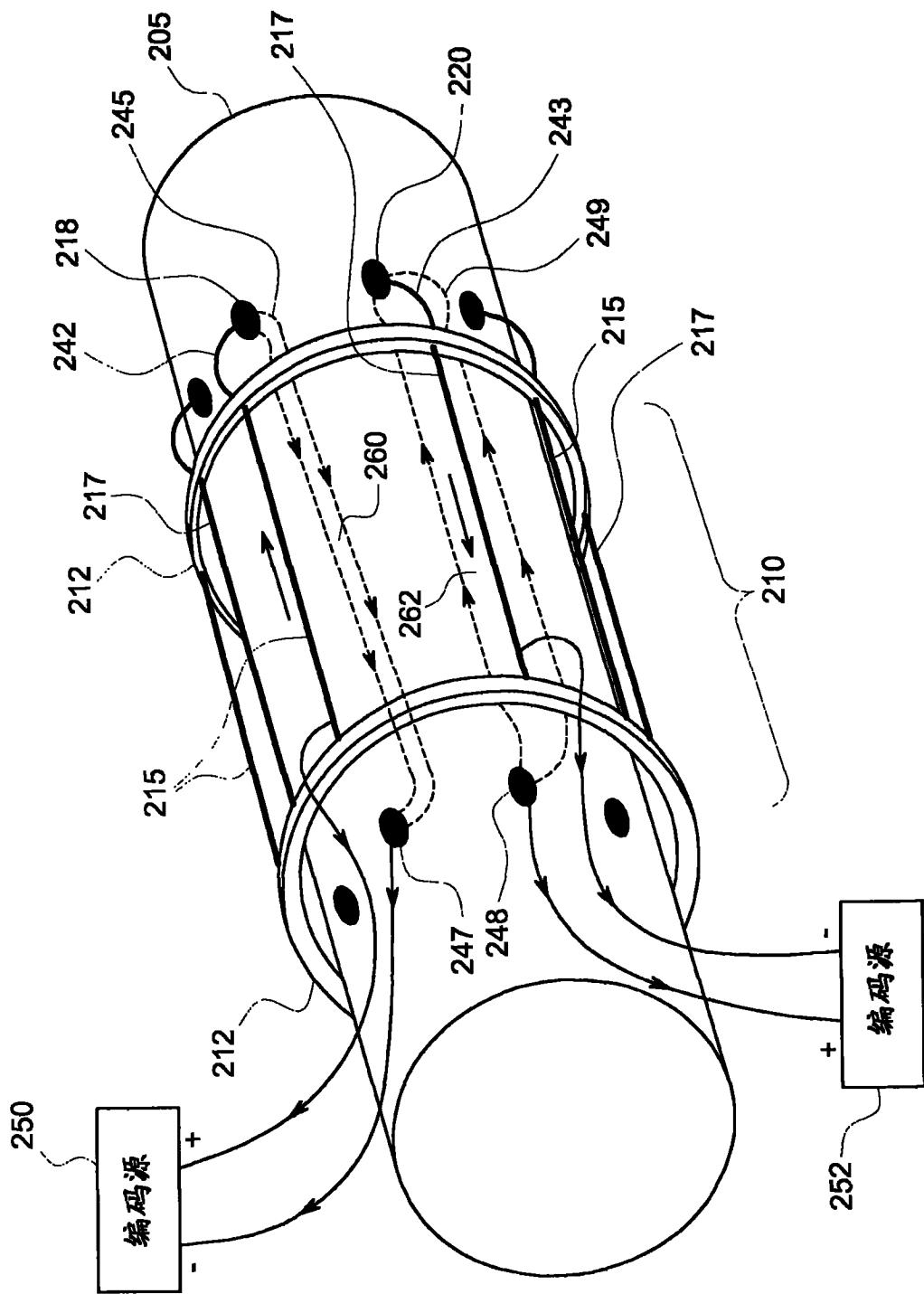


图 4(现有技术)

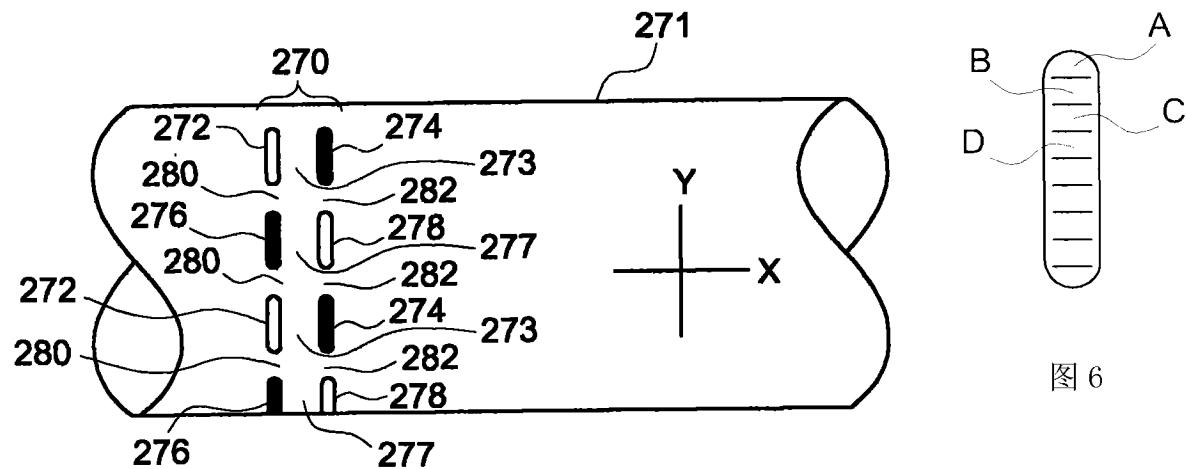


图 6

图 5

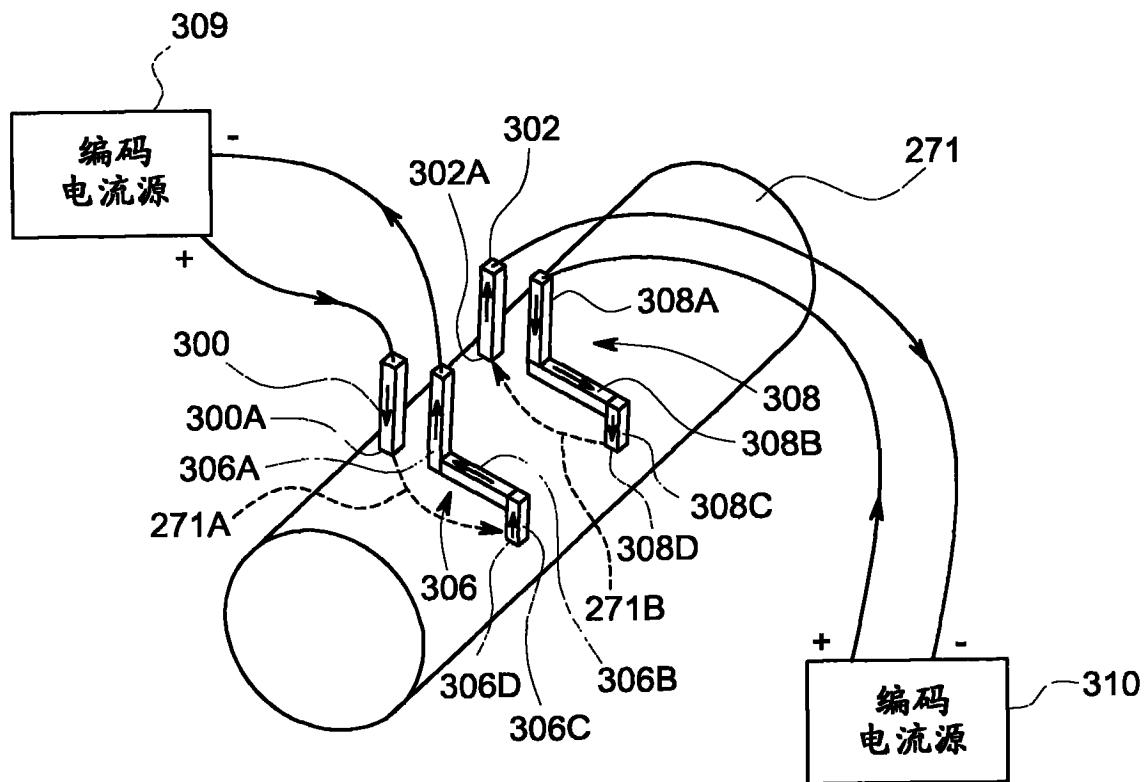


图 7

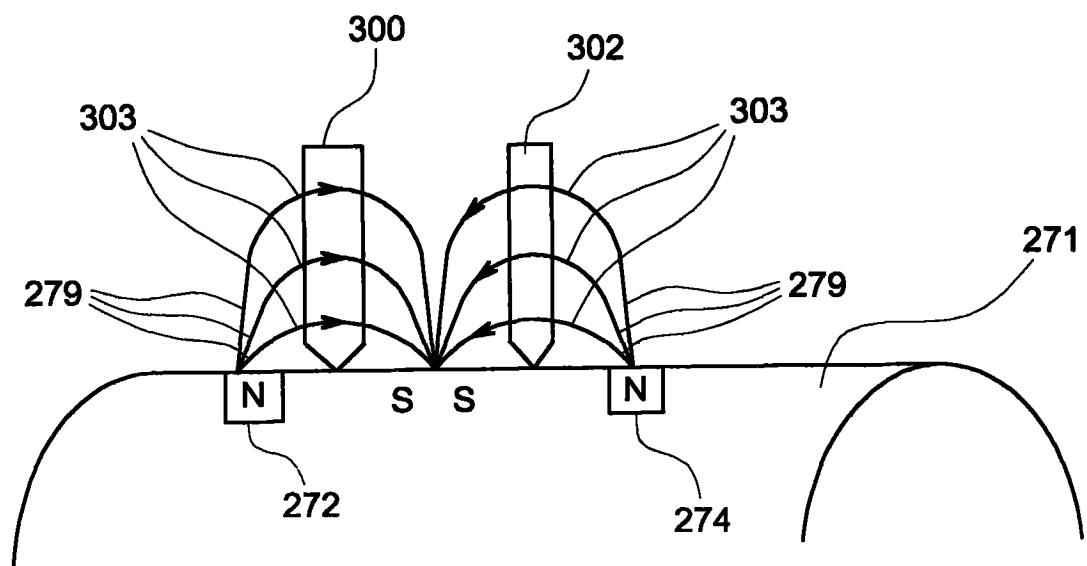


图 8

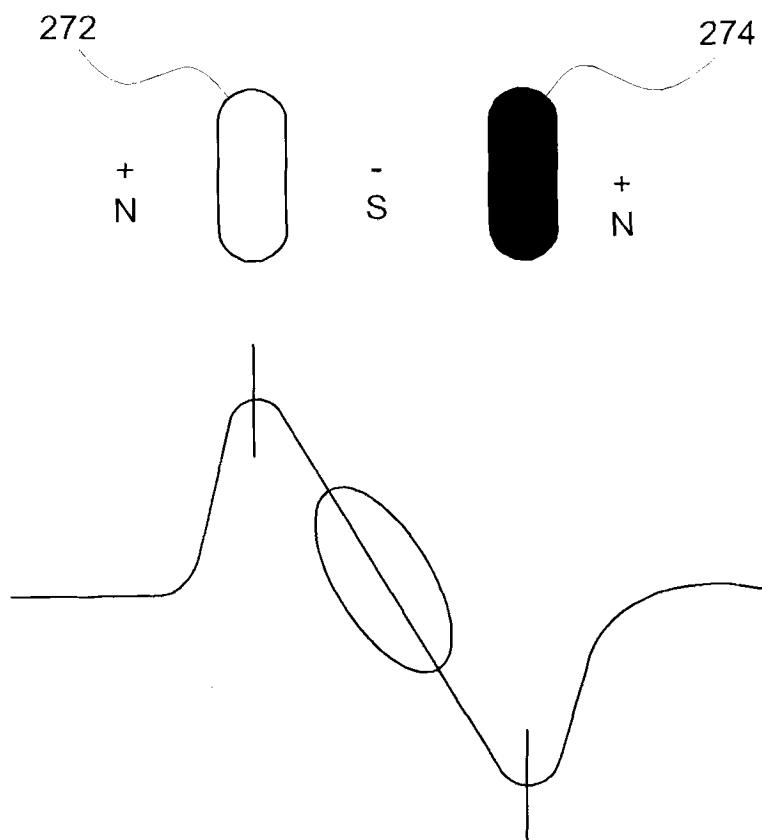


图 9

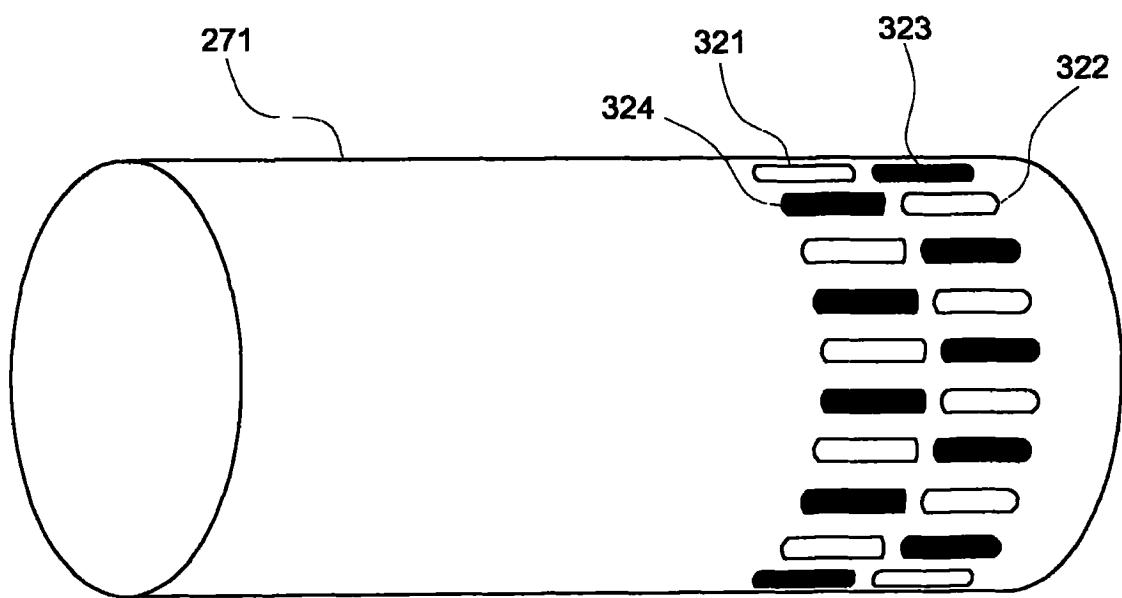


图 10

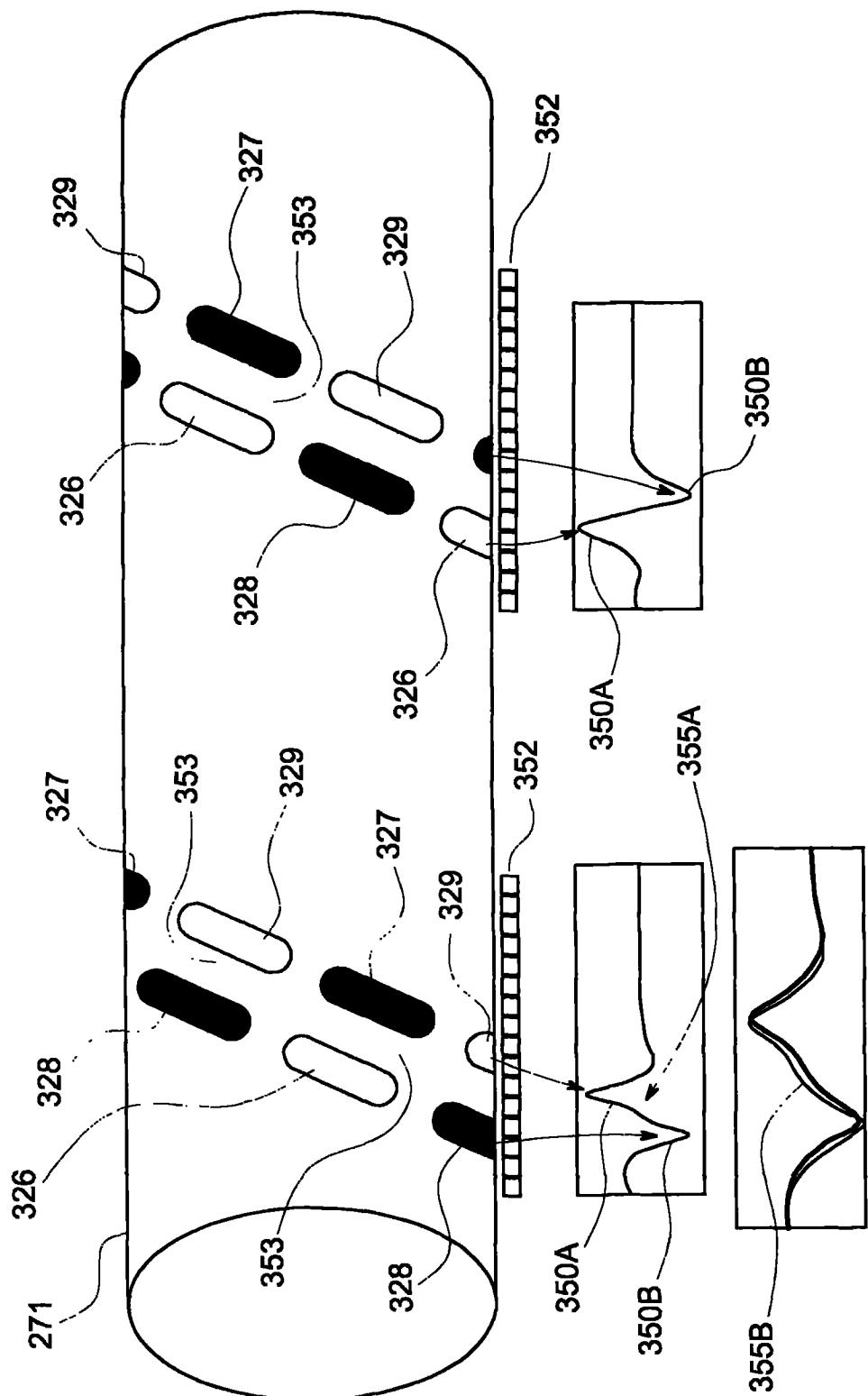


图 11

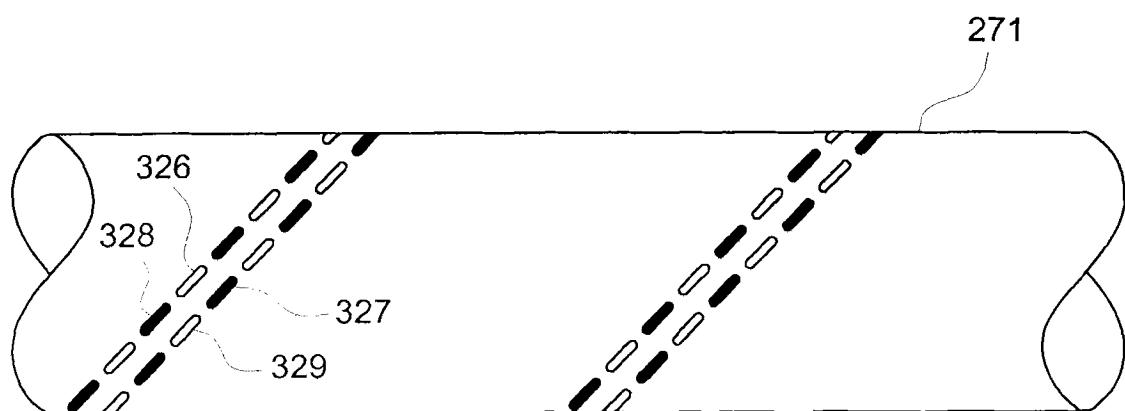


图 12

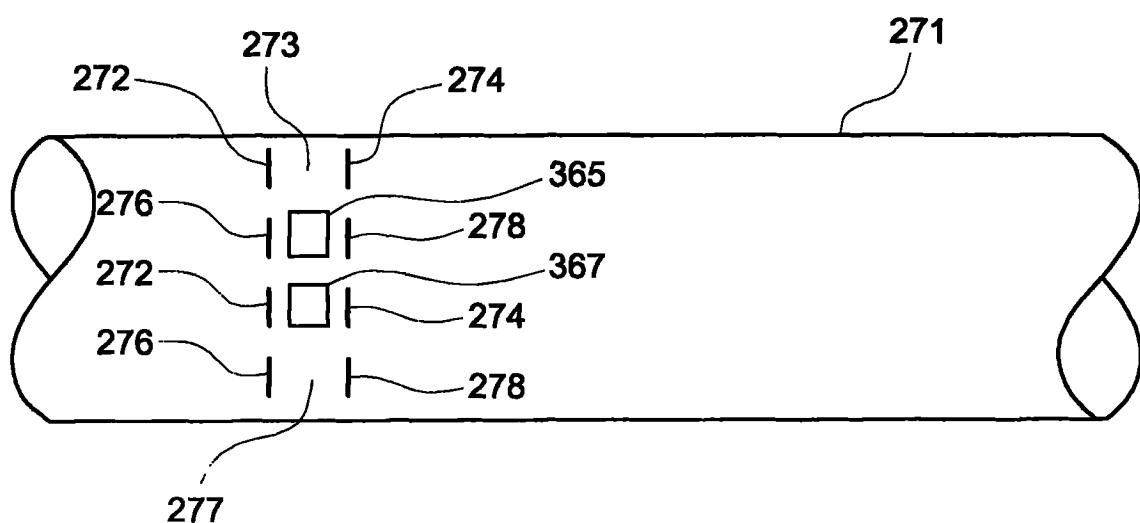


图 13

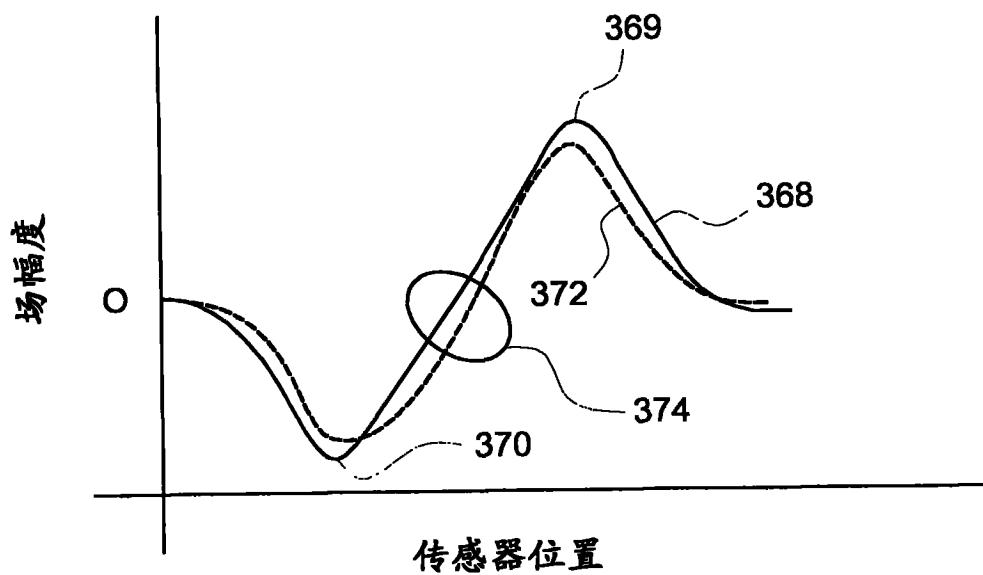


图 14

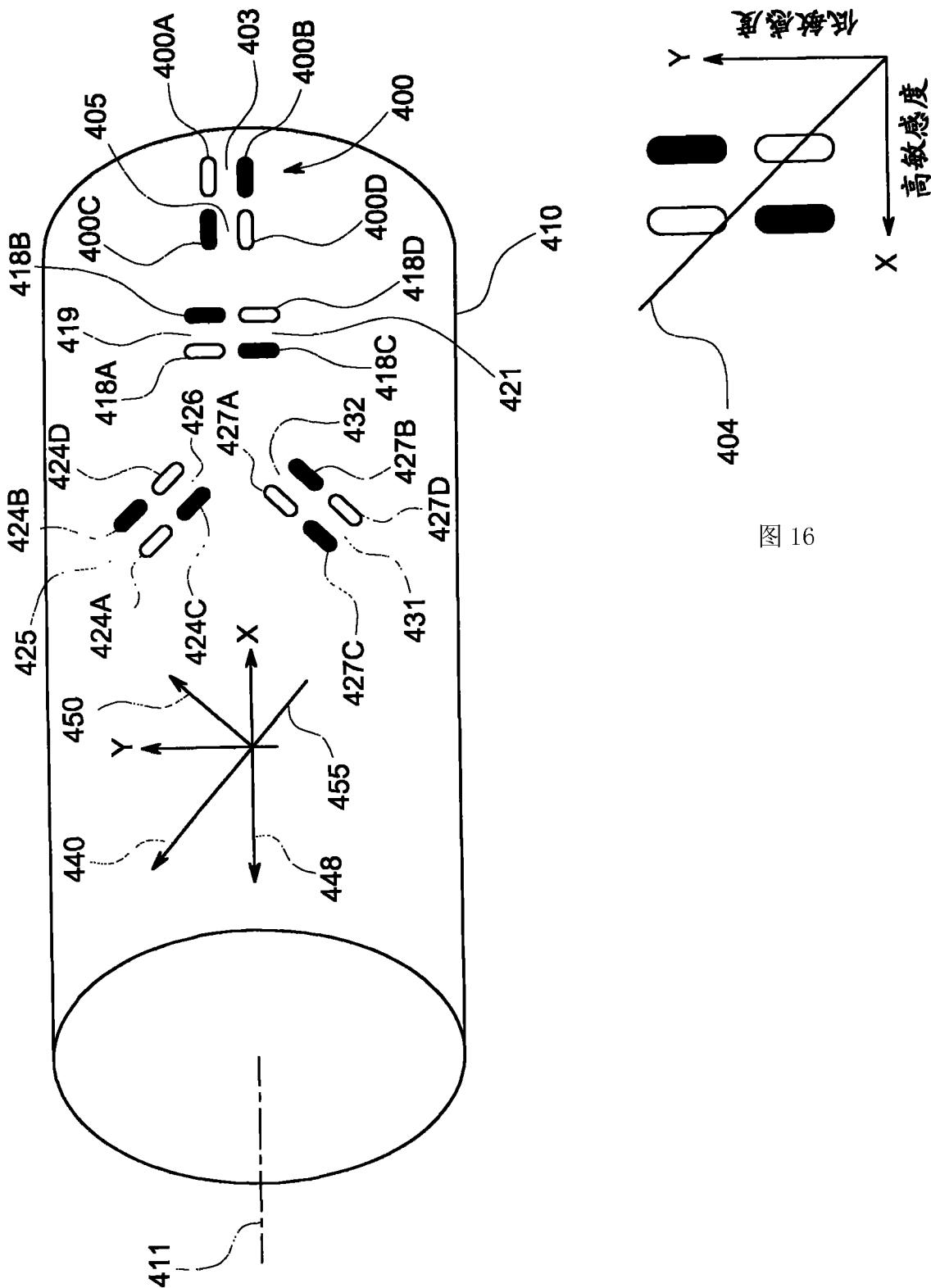


图 15

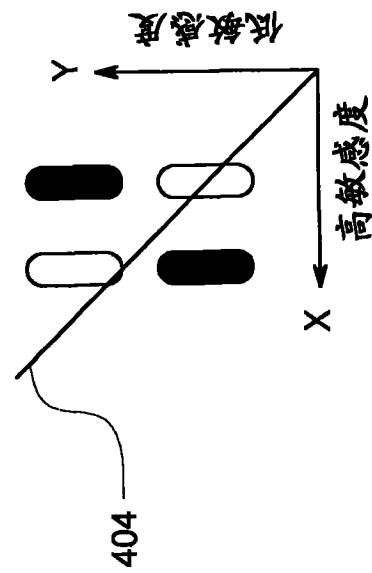


图 16

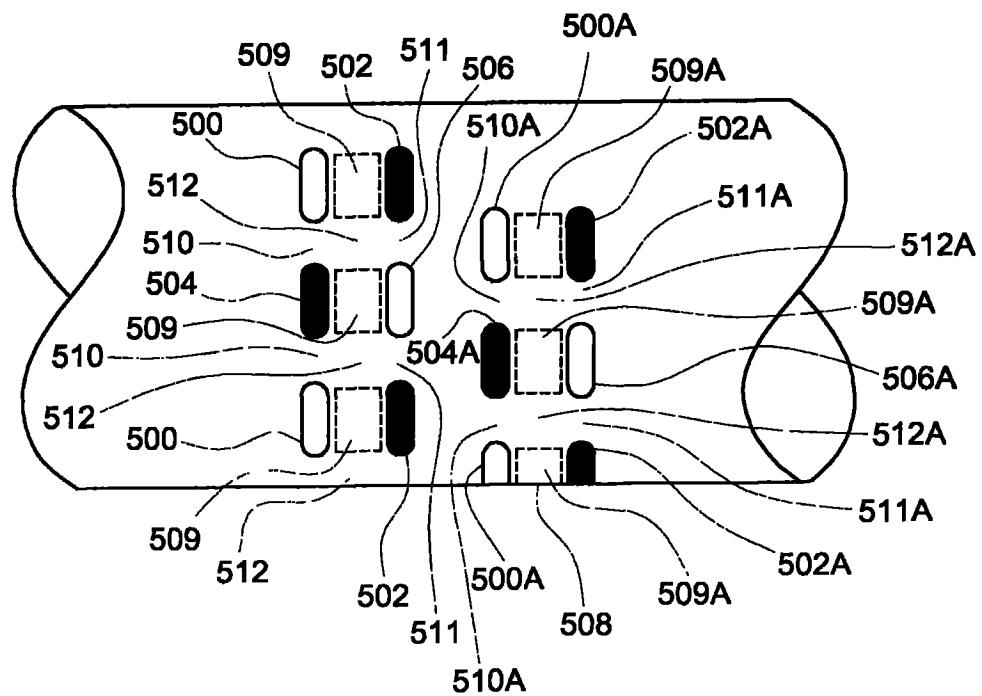


图 17

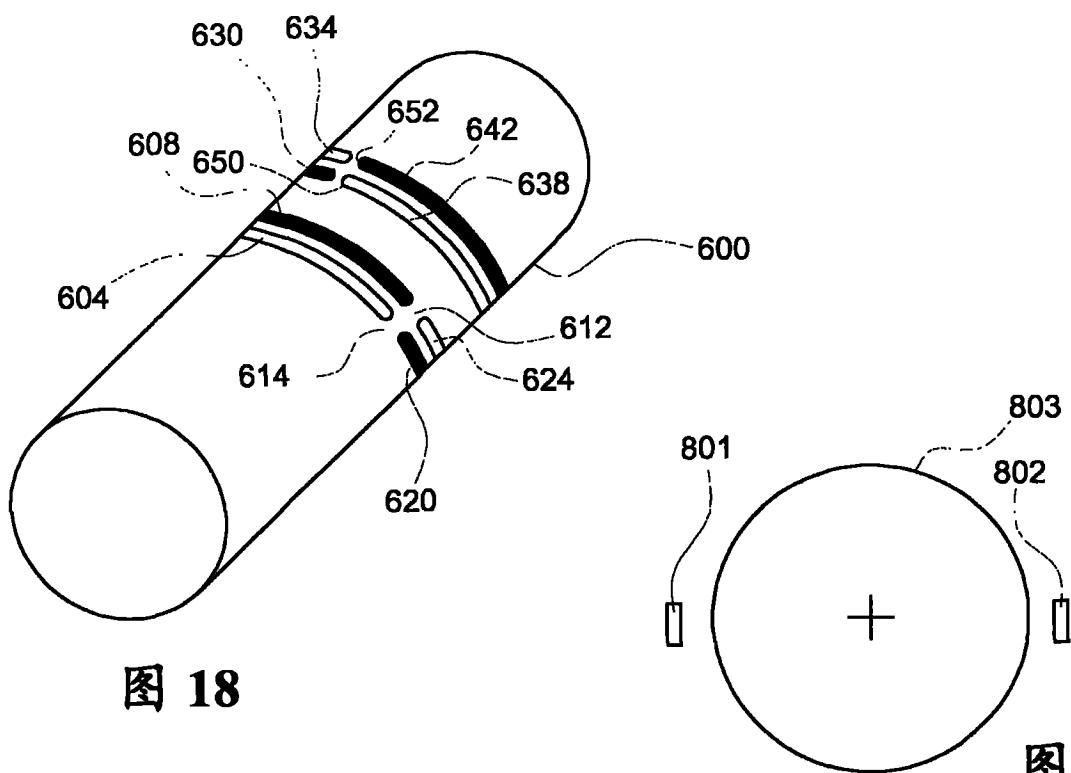


图 18

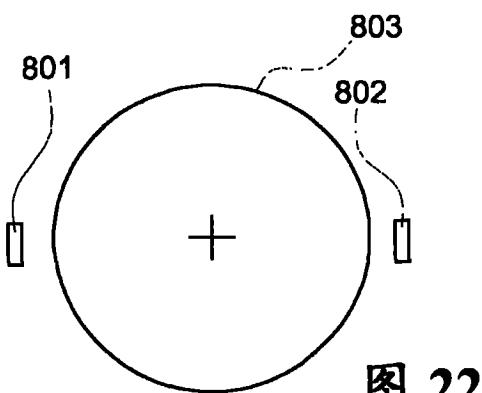


图 22

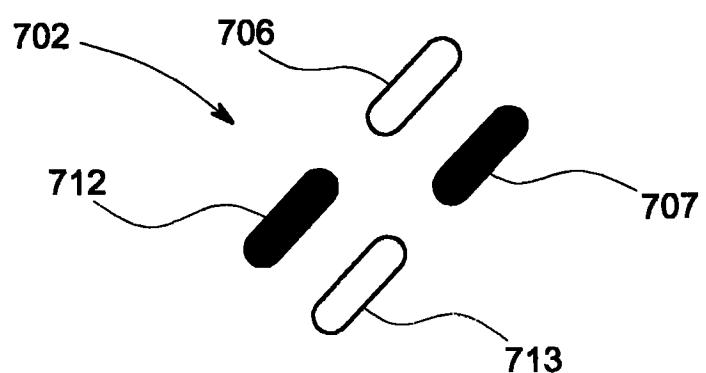


图 19

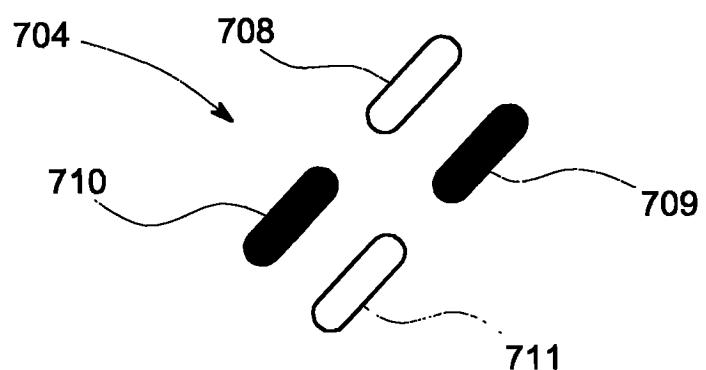


图 20

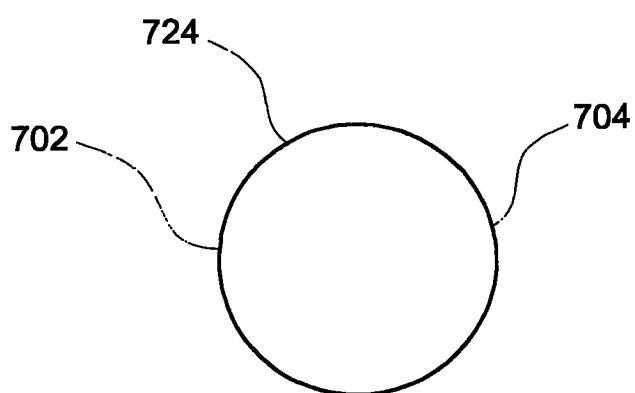


图 21