

特约来稿

多极磁性橡胶编码器的制备与性能研究

田友峰^{1,2},柯玉超^{2,3},孙卫华^{1,2},秦岩^{1,2},夏迎松^{2,3}

(1. 安徽库伯密封技术有限公司, 安徽 宁国 242300; 2. 高性能橡胶材料与制品安徽省重点实验室, 安徽 宁国 242300;
3. 安徽中鼎密封件股份有限公司, 安徽 宁国 242300)

摘要:进行磁性橡胶材料和多极磁性橡胶编码器的制备,并对多极磁性橡胶编码器空间磁场变化规律进行重点研究。结果表明:在轴向方向,多极磁性橡胶编码器最大磁感应强度随着气隙的增大而迅速减小;在径向方向,多极磁性橡胶编码器最大磁感应强度由内向外先增大后减小,极值在橡胶部中心点偏外处。

关键词:磁性橡胶;多极;编码器;磁感应强度

中图分类号:TN762;TQ336.8

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2020)12-0890-04

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2020.12.0890



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

多极磁性传感器的工作原理是利用磁场探测元件测量环向交叉分布多对N/S极的磁性编码器旋转时空间固定位置的磁场变化,并转换成转角与转速信息。相比于电位计式、电感式或光电编码传感器,多极磁性传感器具有抗污性强、安装方便、性能稳定等优点,因而广泛应用于航空航天、汽车及各类装备工业领域^[1-6]。具有多对N/S极的磁性编码器是传感器的核心部件之一,决定了测试的灵敏度和精度。

磁鼓是一种典型的磁性编码器,出现很早,其采用了一层很薄的磁性材料附着在圆柱外侧,由于磁层厚度小,可测量范围很小(如几十微米)^[7-9],不利于在振动环境中使用。近年来,采用磁性橡胶制备的磁性编码器与橡胶密封结构集成大规模应用于汽车轮毂防抱死制动系统(ABS系统)和发动机曲轴法兰密封系统中^[3,10],但对磁性橡胶的设计与工艺研究较多^[11-12],而对多极磁性橡胶编码器的制备与性能研究较少。

本工作利用磁性橡胶制备多极磁性橡胶编码器,并对磁性橡胶材料性能进行表征,对多极磁

性橡胶编码器的磁场变化规律进行了试验研究,相关结果可为多极磁性橡胶编码器的应用提供支持。

1 多极磁性橡胶编码器的制备

1.1 磁性橡胶配方与生产工艺

磁性橡胶与普通橡胶的主要区别在于磁性橡胶中添加了磁性物质,从而可以极化产生磁场。本研究所用磁性橡胶基本配方为:丁腈橡胶(NBR) 100,铁氧体 700,氧化锌 5,防老剂 1,增塑剂 8,硫化剂 5,其他助剂 2。

磁性橡胶的生产工艺如下:将NBR生胶投入密炼机中进行破胶,2~3 min后加入铁氧体粉料,低速混炼至两者分散均匀,再依次加入氧化锌、防老剂、增塑剂,温度在90℃左右时加入硫化剂和其他助剂,胶料混炼均匀后迅速排至开炼机,进行翻炼降温后出片,胶片冷却后待用。

1.2 多极磁性橡胶编码器的制备工艺

多极磁性橡胶编码器主要由磁性橡胶和金属骨架组成,如图1所示。图1(a)标出了多极磁性橡胶编码器交替分布的N级和S级及其之间的界限,在实际产品中无法直接显示。图1(b)展示了多极磁性橡胶编码器基本尺寸,其中磁性橡胶硫化粘接在金属骨架表面,金属骨架安装在旋转部件上,

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFB200100)

作者简介:田友峰(1981—),男,安徽颍上县人,安徽库伯密封技术有限公司工程师,学士,主要从事橡胶材料科学和橡胶复合材料性能相关研究。

E-mail: tianyf@zhongdinggroup.com

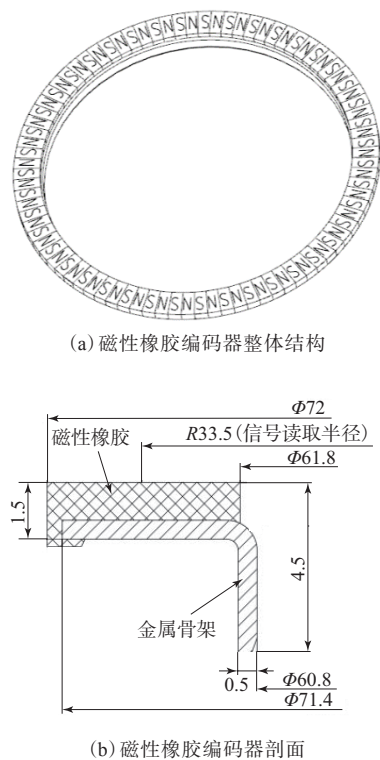


图1 多极磁性橡胶编码器结构示意图

起到支撑和固定的作用。磁性橡胶上表面中间位置一定间隙高度处安装传感器,通常是霍尔传感器测量端。

多极磁性橡胶编码器的生产过程与一般橡胶制品生产过程类似,包括混炼胶制备、金属骨架表面处理、硫化、修边、检验等步骤。所不同的是在完成实物制作后,还需要对多极磁性橡胶编码器进行充磁,使其具有交替分布的多对磁极。通过磁场检测试纸可以观察编码器充磁与否,如图2所示。

2 多极磁性橡胶编码器性能

2.1 磁性橡胶基本性能

由于磁性橡胶是橡胶中混合了大量的磁性粉末,因此与一般橡胶相比,磁性橡胶硬度更大,且弹性较差。本研究磁性橡胶的基本物理性能如表1所示,其拉断伸长率仅为35%,远低于一般的胶料。

剩余磁感应强度反映了磁性橡胶可以被磁化的程度,与多极磁性橡胶编码器的磁感应强度直接相关。经测量,该磁性橡胶的剩余磁感应强度

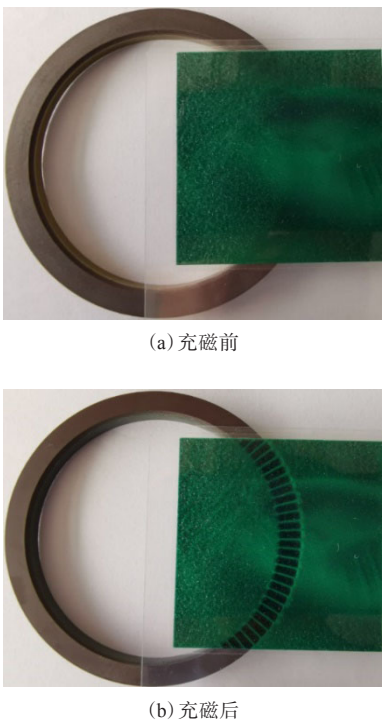


图2 多极磁性橡胶编码器充磁前后对比

表1 磁性橡胶的基本物理性能

项 目	实测值	测试标准
密度/($\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	3.40	GB/T 533—2008
邵尔A型硬度/度	94	GB/T 531.1—2008
拉伸强度/MPa	9.8	GB/T 528—2009
拉断伸长率/%	35	GB/T 528—2009
撕裂强度/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)	11	GB/T 529—2008

为0.218 mT,磁感矫顽力为156.5 $\text{kA} \cdot \text{m}^{-1}$,内禀矫顽力为273.0 $\text{kA} \cdot \text{m}^{-1}$ 。

2.2 多极磁性橡胶编码器磁场规律

多极磁性橡胶编码器的磁场需通过专用设备进行检测。测试时旋转多极磁性橡胶编码器,通过传感器测量端面上方固定位置磁场变化,即得该气隙下沿周向的磁感应强度,并可计算磁场分布角度精度。本研究多极磁性橡胶编码器橡胶部中心点($\Phi=67\text{ mm}$)气隙0.6 mm处磁感应强度随周向角度的变化规律如图3所示,可见在固定高度的圆周上磁感应强度随分布角度变化呈正弦规律变化,负值表示磁场方向相反。图3中曲线的峰值即为磁感应强度的最大值,周期数即为磁极对数。经过统计处理,最大磁感应强度为56.3 mT,磁极对数为43对。

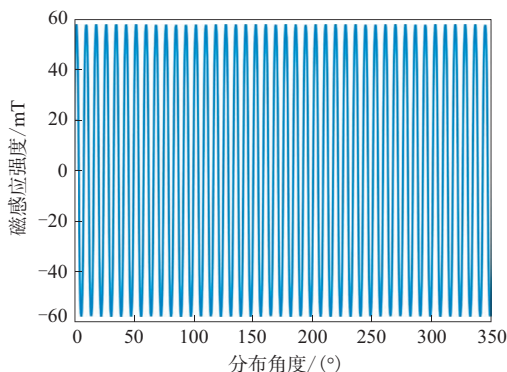


图3 磁感应强度随角度的变化规律

磁场分布角度精度将直接影响所制备的传感器精度。根据曲线计算,该多极磁性橡胶编码器的单磁极最大误差为0.62%,累积误差为1.09%,能充分满足使用要求。

由于安装公差、磁极分布公差、测点位置偏差等因素的影响,多极磁性橡胶编码器在实际使用过程中测试值与设计值难免存在差异。为了在多极磁性橡胶编码器设计时确定允许的公差范围及测试阈值,保证测试结果的精准性和稳定性,需要对磁场分布进行研究。

多极磁性橡胶编码器橡胶部中心点($\Phi=67$ mm)的最大磁感应强度随气隙的变化规律如图4所示。可以看出:随着气隙的增大,最大磁感应强度迅速减小;当气隙达到2 mm左右时,最大磁感应强度减小速度逐渐变缓。可见当传感器测量端设定的高度较小时,编码器最大磁感应强度较大,能够具备更强的抗干扰能力。

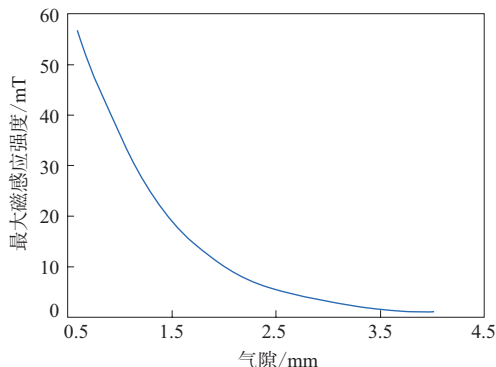
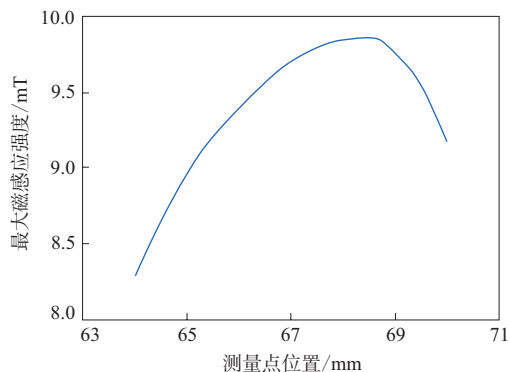
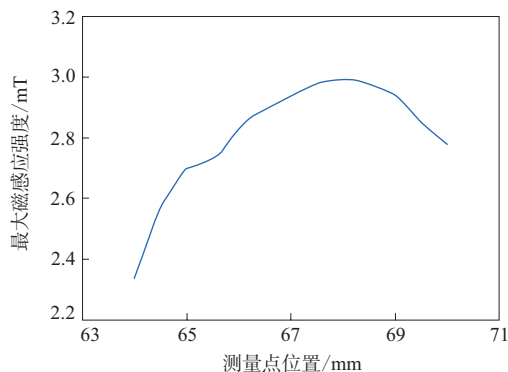


图4 最大磁感应强度随气隙的变化曲线

最大磁感应强度在多级磁性橡胶编码器径向的分布如图5所示(测量点位置以 Φ 计)。可见在不



(a) 气隙为2 mm



(b) 气隙为2.95 mm

图5 最大磁感应强度在多级磁性橡胶编码器径向的分布

同气隙下,最大磁感应强度沿径向方向的变化规律基本相同:由内向外时最大磁感应强度先增大,到达极值时再减小。最大磁感应强度的极值并不在橡胶部中心点($\Phi=67$ mm),而是在橡胶部中心点偏向外侧,即 $\Phi=68$ mm附近。最大磁感应强度极值偏向橡胶中心点外侧的原因一方面是由于磁极外侧的宽度比内侧大,磁场叠加后的磁感应强度更大;另一方面是由于外侧的磁性橡胶较厚,特别是外边缘处橡胶整体外包在金属骨架外侧,使得磁感应强度极值向外偏移。

3 结论

(1) 磁性橡胶由于加入了大量的磁性粉末,因而硬度很高,弹性变差。

(2) 多极磁性橡胶编码器固定高度沿圆周方向上的磁感应强度随磁场分布角度变化呈正弦分布,分布曲线上的波峰波谷对应N级和S级的

极值。

(3) 多极磁性橡胶编码器固定径向位置的最大磁感应强度随着气隙的增大而迅速减小。

(4) 在径向方向, 多极磁性橡胶编码器的最大磁感应强度由内向外呈现先增大后减小的趋势, 极值在橡胶部中心点外侧的 Φ 为68 mm处, 这主要是由磁性橡胶环状结构和外侧磁性橡胶厚度较大造成的。

参考文献:

- [1] 康芳, 佟兴嘉, 张建亮. 磁性编码器在航空动力燃油系统试验中的应用[C]. 2012航空试验测试技术学术交流会论文集. 北京: 测控技术杂志社, 2012: 3.
- [2] 张宇, 闵子建, 陈庆永, 等. 磁旋转编码器在汽车测速系统中的应用[J]. 仪表技术与传感器, 2008(9): 76-77, 98.
- [3] 陈晋阳. 磁性橡胶在汽车上应用的现状和发展[J]. 中国橡胶, 2011, 27(14): 33-36.
- [4] 杜玉玲, 马殿春, 王丽华. 磁性编码器在凿岩钻车自动控制中的应用[J]. 煤矿机械, 2006, 27(2): 349-351.
- [5] 莫会成, 闵琳. 现代高性能永磁交流伺服系统综述——传感装置与技术篇[J]. 电工技术学报, 2015, 30(6): 10-21.
- [6] Kanda T, Maeda H, Suzumori K. A Micro Ultrasonic Motor Controlled by Using a Built-in Micro Magnetic Encoder[C]. 2010 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, Montreal, Q C, Canada: IEEE, 2010: 1029-1034.
- [7] 朱名日, 蒋存波, 马学文. 高分辨率磁性编码器的磁鼓研究[J]. 桂林工学院学报, 2004, 24(2): 241-244.
- [8] 王立锦, 胡强, 滕蛟, 等. 高分辨磁旋转编码器磁鼓表露磁场分析与AMR检测磁头设计[J]. 北京科技大学学报, 2004, 26(5): 498-501, 532.
- [9] 赵维富, 乔妙杰, 张立. 基于Ba铁氧体的磁编码器多极磁鼓制备与性能[J]. 磁性材料及器件, 2018, 49(4): 34-37.
- [10] 李振环, 孔建, 杨家义, 等. 汽车ABS系统用多极磁性橡胶密封圈的研制、应用及展望[J]. 液压气动与密封, 2017, 37(3): 1-5.
- [11] 江涌, 郭宇峰, 赵贵哲, 等. 磁性橡胶的制备与性能研究[J]. 橡胶工业, 2011, 58(5): 269-274.
- [12] 吕超磊. 锶铁氧体-天然橡胶复合材料的制备与性能研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2019.

收稿日期: 2020-07-22

Preparation and Performance of Multipole Magnetic Rubber Encoder

TIAN Youfeng^{1,2}, KE Yuchao^{2,3}, SUN Weihua^{1,2}, QIN Yan^{1,2}, XIA Yingsong^{2,3}

(1. Anhui Cooper Sealing Technology Co., Ltd, Ningguo 242300, China; 2. Key Laboratory of High-performance Rubber & Products of Anhui Province, Ningguo 242300, China; 3. Anhui Zhongding Sealing Parts Co., Ltd, Ningguo 242300, China)

Abstract: The magnetic rubber materials and multipole magnetic rubber encoder were prepared, and the spatial magnetic field variation law of multipole magnetic rubber encoder was mainly studied. The results showed that, in the axial direction, the maximum magnetic induction intensity of the multipole magnetic rubber encoder decreased rapidly with the increase of the air gap; in the radial direction, the maximum magnetic induction intensity of the multipole magnetic rubber encoder increased first and then decreased from the inside to the outside, and the extreme value was outside the center of the rubber part.

Key words: magnetic rubber; multipole; encoder; magnetic induction intensity

一种铁路机车车辆受流器用高温硅橡胶电缆
由安徽省康利亚股份有限公司申请的专利(公布号 CN 111524650A, 公布日期 2020-08-11)
“一种铁路机车车辆受流器用高温硅橡胶电缆”, 涉及的硅橡胶电缆包含中空结构的柔性记忆金属管, 柔性记忆金属管的外侧设有隔热层, 隔热层内圈与柔性记忆金属管外圈之间固定连接6个呈环形均匀分布的连接板、填充散热纤维层, 相邻两个

连接板之间设有缆芯, 缆芯固定镶嵌在散热纤维层内, 隔热层的外圈固定连接屏蔽层, 屏蔽层的外圈固定连接绝缘层, 绝缘层外圈固定连接硅橡胶保护外套。该铁路机车车辆受流器用高温硅橡胶电缆便于将缆芯产生的热量散去, 有效避免了电缆外部保护层发生融化, 且缆芯的导体不易受热发生损坏。

(本刊编辑部 赵 敏)