

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2014.03.011

基于磁场力的微小摩擦力测试装置

陈文庆¹, 朱旭升², 熊四昌¹, 袁巧玲¹

(1. 浙江工业大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310014; 2. 杭州东城电子有限公司, 浙江 杭州 310000)

摘要:为了准确测试出“无摩擦”活塞气缸在运动过程中所受到的微小摩擦力,提出一种基于磁场力的非接触式的微小摩擦力测试方法,并设计了测试装置。该方法利用磁场之间的作用力推动被测件,实现了非接触式测量。此外,建立了磁场仿真模型,理论上验证了该测试方法的合理性。

关键词:微小摩擦力;测试方法;非接触式;磁场仿真

中图分类号:TH117 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2014)03-0043-04

Testing Device for Micro Friction Force Based on Magnetic Field Force

CHEN Wenqing¹, ZHU Xusheng², XIONG Sichang¹, YUAN Qiaoling¹

(1. College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;

2. Hangzhou Dongcheng Electronics Co., Ltd., Hangzhou 310000, China)

Abstract: The design of a micro friction force testing device to accurately examine the micro force was presented in the movement of frictionless pneumatic cylinders, which used a non-contact measuring method based on magnetic field force. This method made use of the force between two magnetic fields to push the measured pieces and achieved the goal of non-contact measuring. In addition, a magnetic filed simulation model was built, which theoretically verified the rationalization of this measuring method.

Key words: micro friction force; testing method; non-contact; magnetic simulation

随着微电子机械系统的兴起,摩擦学的研究开始进入微观与宏观相结合的阶段,介于微观摩擦和宏观摩擦之间的摩擦被称为微小摩擦^[1]。李振波,曹长江等^[2]针对微小摩擦的测试提出了一种间接测量法。康剑莉^[3]为了测试人体皮肤的摩擦特性,设计了一种气体静压支承结构的测试试验台。文献[4]利用2 mm超微电机参数辨识,提出一种微小摩擦力测量方法。文献[5]研制一种弹流微摩擦测试机构。以上文献所提出的针对微小摩擦力的测试方法都未涉及“无摩擦”活塞气缸在运动过程中所受到的微小摩擦力测试。本文提出一种基于磁场力的非接触式微小摩擦力测试方法,关于磁场的作用原理,国内外学者做了大量的研究。Gilles Akoun, Jean-Paul Yonnet^[6]和 Hicham Allag, Jean-Paul Yonnet^[7]对两块方形永磁体之间的作用力进行了理论分析及仿真分析。J. C. Compter, J. L. G. Janssen, E. A. Lomonova 对非方形永磁体的等效安

培电路模型进行了研究^[8]。文献[9]分析了两块圆柱形永磁铁之间的作用力。文献[10-11]对圆柱形永磁铁在空间中磁场的三维分布情况进行了定量研究。文献[12-13]论证了通电螺线管和圆柱形永磁铁具有等效的磁场分布模型。

1 测试方法的总体方案^[14]

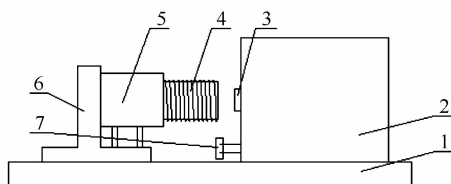
文中所述测试方法主要基于电磁场和永磁场之间的作用力,因此测试装置主要由通电螺线管和圆柱形永磁铁等构成,如图1所示。实验装置还包括图形显示测力计、安装支架墙、移动探测仪、金属片等。安装支架墙上安装图形显示测力计,电磁铁与图形显示测力计刚性连接。测试步骤如下:

1) 若被测件是金属,则磁铁直接安装在被测件上,移动探测仪装置固定在探针刚好接触被测件的位置;若被测件为非金属,则将磁铁用双面胶粘在被测件上,同样将一块小型金属片粘在被测件上,移动探测仪

收稿日期:2013-10-09;修回日期:2013-10-11

作者简介:陈文庆(1989),男,浙江衢州人,硕士研究生,主要研究方向为机电一体化。E-mail: cwqjob@126.com

装置固定在探针刚好接触金属片的位置;



1—导轨;2—滑块;3—永磁铁;4—电磁铁;5—力传感器;6—安装支架;7—移动探测仪及金属片

图 1 测试装置结构示意图

Figure 1 Structure diagram of measurement device

2) 将测试机构放置在离被测件一定距离后固定,电磁铁接上电源使得电磁铁与被测件磁铁之间产生互斥力;

3) 调节电流大小使电磁铁的磁力慢慢增加直至被测件被它们之间的互斥力推动,在被测件移动的瞬间,移动探测仪的探针与被测件脱离接触,探测仪传递信号将此时测力计的数据锁存并使电磁铁断电,此时测力计的数据即为所测摩擦力的数值。

2 测试装置的电控部分设计

由前文所述可知,该测试装置电控部分主要由 3 个部分组成:通电线圈电流的控制部分,磁场力的采集及上传部分以及测试停止条件控制部分。电控部分总体结构如图 2 所示。

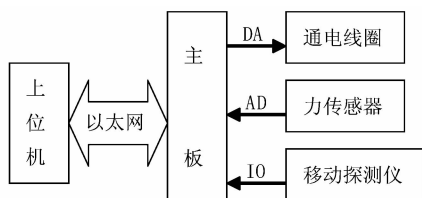


图 2 电控部分总体结构示意图

Figure 2 Overall structural diagram of electrical control part

图 2 中所述主板的主控制器采样意法半导体公司生产的 stm32 系列 ARM 芯片,通过以太网芯片 w5100 与上位机进行以太网通信,并利用主控制器的片内 DA,输出一个 0 ~ 2.5 V 的可控电压信号。该电压信号通过运放 OPA548 实现对输出电流的控制,如图 3 所示。图 3 中网络标号 DA 表示主控制器输出的电压信号,电阻 R_1 和 R_3 的比值决定运放的放大倍数,电阻 R_4 为取样电阻,确定输出电流的大小。

力传感器的信号采样利用 24 位 AD 采样芯片 AD7190,该芯片的采样数据输出接口为 SPI,可与主控制器的 SPI 接口通信。移动探测仪的输出信号为电平信号,可以 IO 的形式输入到主控制器中。

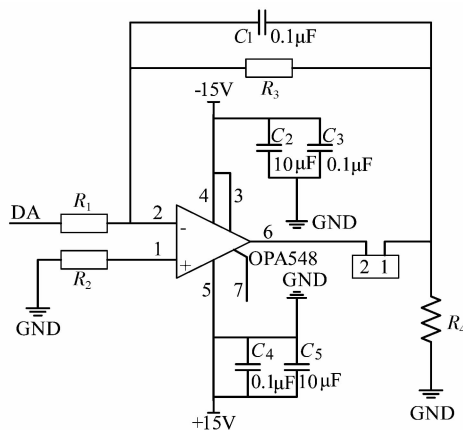


图 3 通电线圈电流的控制电路

Figure 3 Current control circuit of electric coil

3 磁场计算和仿真模型

文献[13]给出了通电螺线管和圆柱形永磁铁相互等效的具体方法:对于一个均匀分布,剩磁感应强度为 B_r 的永磁铁而言,它在空间中的磁场分布和同样几何尺寸,面电流 $K = \frac{B_r}{\mu_0}$ 的通电螺线管产生相同的磁场,如图 4 所示。

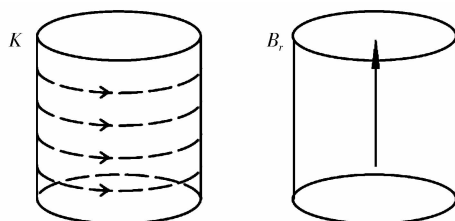


图 4 通电线圈和永磁铁

Figure 4 Electric coil and permanent magnet

基于以上理论基础,将通电线圈的模型等效为永磁铁的模型,对通电螺线管和圆柱形永磁铁之间作用力进行仿真分析。仿真模型如图 5 所示。图中将线圈匝数为 N ,通电电流为 I 的通电螺线管等效成剩磁感应强度为 B_{r1} ($B_{r1} = \mu_0 \frac{NI}{z_1}$,其中 μ_0 为真空磁导率),并具有同样几何尺寸的永磁铁。

仿真参数设定如下(参数的单位均为国际单位制单位):

$r_1 = 0.05, r_2 = 0.005, z_1 = 0.1, z_2 = 0.01, d = 0.05;$
 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}; N = 50\ 000, I_1$ 取 $1, 2, \dots, 10; B_{r2} = 1.4$
 (对于钕铁硼磁铁而言)。

磁场分布的仿真结果图如图 6 所示。2 个线圈之间作用力的仿真结果如图 7 所示。

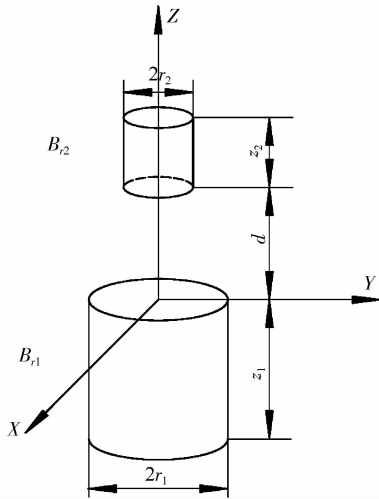


图5 磁场仿真模型示意图

Figure 5 Diagram of magnetic field simulation model

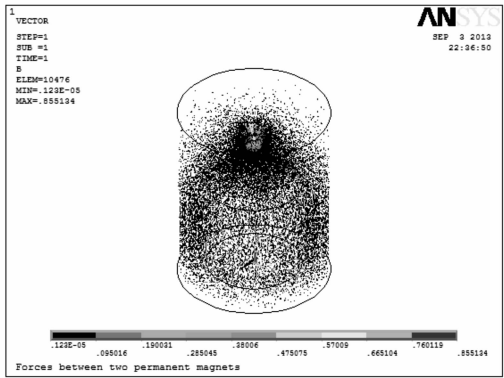


图6 磁场分布图

Figure 6 Diagram of magnetic field distribution

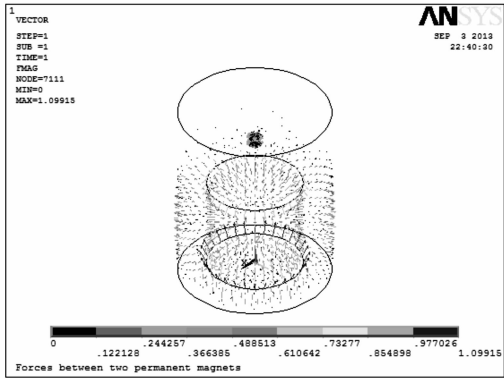


图7 作用力分布图

Figure 7 Diagram of force distribution

通过以下代码(ANSYS 的命令)
/POST1
vsel,s,,,2,,,1

EMFT

Alls

可以求出图5中的永磁铁所受的3个方向的作用力 F_x, F_y, F_z ,具体数值见表1。

表1 磁场力-电流数据表

Table 1 Magnet field force-current data

电流 I/A	F_x/N	F_y/N	F_z/N
1.0	0.016 2	0.002 8	1.023 7
2.0	0.016 8	0.002 3	1.959 2
3.0	0.017 5	0.001 7	2.894 5
4.0	0.018 2	0.001 2	3.829 7
5.0	0.018 9	0.000 6	4.764 6
6.0	0.019 6	0.000 1	5.699 4
7.0	0.020 3	0.000 5	6.633 9
8.0	0.021 0	0.001 1	7.568 3
9.0	0.021 7	0.001 7	8.502 5
10.0	0.022 4	0.002 4	9.436 5

从表1可知以下结论: $F_z/F_x > 60, F_z/F_y > 360$ 。这些结论表明当2块永磁铁轴心重合时,它们之间的相互作用力主要集中在轴心方向,其他两个方向的作用力可以忽略不计。另外根据 z 方向的磁场力 F_z 和电流 I 的值可以拟合出如图8所示的曲线图。从图中不难看出磁场力 F_z 和电流 I 之间成正比例的关系。

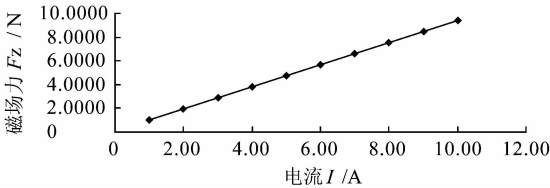


图8 磁场力-电流关系图

Figure 8 Connection diagram of magnet field force-current

4 结语

针对微小摩擦力测试难题,提出一种新的非接触式测量方法,并设计了测试装置。建立了磁场力仿真模型,对两个同轴圆柱形永磁铁的磁场进行了仿真,结果表明两者之间的作用力方向主要为轴线方向,磁场力的大小和电流之间成正比例的关系。理论上验证了该测试方法的合理性。

参考文献:

[1] 薛群基,党鸿辛. 摩擦学研究的发展概况与趋势[J]. 摩擦学学报, 1993,13(1):73-81.
[2] 李振波,曹长江,肖永利,等. 一种微小摩擦力的测试方法[J]. 上海交通大学学报,2000,34(3):364-365.

- [3] 康剑莉. 微小摩擦力测试系统的建立[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2005(7): 65-69.
- [4] 肖永利, 曹长江, 李振波, 等. 基于2 mm电机参数辨识的微小摩擦力测量研究[J]. 测控技术, 1999, 18(12): 18-20.
- [5] 黎智恒, 任王君, 黄平. 微摩擦力测量机构的研制[J]. 现代制造工程, 2001, 114(11): 21-22.
- [6] AKOUN G, YONNET J-P. 3D analytical calculation of the forces exerted between two cuboidal magnets[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 1984, 20(5): 1962-1964.
- [7] ALLAG H, YONNET J-P. 3D analytical calculation of the interactions between permanent magnets[C]. Grèce: Conférence Internationale REPM, 2008: 1-5.
- [8] COMPTER J C, JANSSEN J L G, LOMONOVA E A. Ampere's circuital 3-D model for noncuboidal magnets[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2010, 46(12): 4009-4015.
- [9] VOKOUN D, BELEGGA M, HELLER L, et al. Magnetostatic interactions and forces between cylindrical permanent magnets[J]. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2009, 321(22): 3758-3763.
- [10] FURLANI E P, REZNIK S, KROLL A. A three-dimensional field solution for radially polarized cylinders[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 1995, 31(1): 844-851.
- [11] YANGA Wan'an, ZHOU Gang, GONG Kai, et al. The numeric calculation for cylindrical magnet's magnetic flux intensity[J]. International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, 2012, 40(3): 227-235.
- [12] RAVAUD R, LEMARQUAND G, BABIC S, et al. Cylindrical magnets and coils: fields, forces, and inductances[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2010, 46(9): 3585-3590.
- [13] LEMARQUAND G, LEMARQUAND V, BABIC S, et al. Magnetic field created by thin wall solenoids and axially magnetized cylindrical permanent magnets[C]. Moscow, Russia: PIERS Proceedings, 2009: 614-618.
- [14] 杜杏, 梅顺齐, 王志伟, 等. 圆筒式磁力驱动机构磁转子的耦合磁场分析[J]. 轻工机械, 2011, 29(6): 56-58.

(上接第42页)

度也有明显提高。综合以太网通信的优势, 以太网通信一定会在今后的工业生产中得到更加广泛地运用。

参考文献:

- [1] 唐永胜. 智能电网条件下微电网接入的配电网综合效益研究[J]. 贵州电力设计, 2011, 14(8): 10-11.
- [2] 江启赞. 基于净负荷预测的独立微电网协调控制策略[J]. 机电工程, 2013, 30(10): 1259-1263.
- [3] 邓钊. 工业计算机与PLC在混凝土搅拌站中的应用[J]. 工业技术, 2011(5): 123-124.
- [4] 赵波, 李鹏, 童杭伟, 等. 从分布式发电到微电网的研究综述[J]. 浙江电力, 2010, 29(3): 1-5.
- [5] WAGO Kontakttechnik GmbH & Co KG. WAGO-I/O-SYSTEM 750 programmable fieldbus controller ETHERNET 750-881[Z]. Minden, Germany: WAGO Kontakttechnik GmbH & Co KG, 2010.
- [6] 陈树学, 刘宣. LabVIEW宝典[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [7] NATIONAL INSTRUMENTS. NI-OPC Sever 支持的设备与驱动空间程序列表[EB/OL]. (2012-02-17). <http://www.ni.com/white-paper/6417/zhs>.
- [8] 李红梁. 基于OPC的PC与PLC实时通讯的LabVIEW实现[J]. 计算机应用研究, 2003, 20(12): 115-118.
- [9] 陈红昱, 丁敬保, 王青川. 基于VB6.0的PC机与WAGO 750-881以太网控制器实现Modbus/TCP通讯研究[J]. 中国仪器仪表, 2012(2): 29-31.
- [10] 戴钦来, 马钧华. 基于ARM和DSP的多轴伺服系统以太网通信[J]. 轻工机械, 2011, 29(1): 62-65.
- [11] WAGO Kontakttechnik GmbH & Co KG. API Modbus/TCP DLL[Z]. Minden, Germany: WAGO Kontakttechnik GmbH & Co KG, 2010.