

文章编号 1004-924X(2012)01-0072-08

面向光纤熔融拉伸的电磁力施加装置设计与实验

荣伟彬, 关楠楠*, 王乐锋, 孙立宁

(哈尔滨工业大学 机器人技术与系统国家重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要: 设计了相应的电磁力施加装置以实现超细径光纤熔融拉伸力的精确控制。采用有限元法分析不同线圈参数下电磁线圈与永磁铁之间电磁力的大小, 获得电磁力与线圈各参数间的数学关系式。以拉伸系统性能要求及线圈骨架的外形尺寸为限制条件建立约束方程及目标函数进行优化求解, 得到最优参数。在依据优化参数制作电磁线圈的基础上设计了电磁力控制电路, 通过调节线圈电流精确控制电磁力。最后, 进行电磁力施加装置性能实验。实验结果表明: 光纤拉伸力的范围达到 26.073 mN; 光纤拉伸力的分辨率达到 7.473 μ N, 满足超细径光纤熔融拉伸对拉伸力范围及分辨率的要求。

关键词: 超细径光纤; 熔融拉伸; 电磁力施加装置; 微力测量

中图分类号: TN253 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20122001.0072

Design and experiment of electromagnetic force device for optical fiber fusion stretching

RONG Wei-bin, GUAN Nan-nan*, WANG Le-feng, SUN Li-ning

(State Key Laboratory of Robotics and System, Harbin Institute of Technology, Harbin 150080, China)

* Corresponding author, E-mail: moyunjinchignm@sina.com

Abstract: An electromagnetic force device is designed to realize the precise force control in the process of fusion stretching of ultra-thin fibers. First, the electromagnetic force with different coil parameters is calculated based on finite element method, and the relationship between electromagnetic force and coil parameters is derived. With the demand of stretching system performance and the dimension restrictions of the coil frame, constraint equations and objective functions are established to optimize the solution to machine the electromagnetic coil. Then the control circuit for electromagnetic force is designed to regulate the current in the coil and achieve the fine adjustment of electromagnetic force. Finally, experiments of electromagnetic force device are performed. The results indicate that the range of stretching force for the optical fibers can achieve 26.073 mN and the measuring resolution is 7.473 μ N. It satisfies the demand of the fusion stretching of ultra-thin fibers.

Key words: ultra-thin fiber, fusion stretching, electromagnetic force device, microforce measurement

收稿日期: 2011-08-15; 修订日期: 2011-09-28.

基金项目: 国家杰出青年基金资助项目 (No. 50725518); 国家 863 高技术研究发展计划资助项目 (No. 2007AA04Z343, 2009AA043103); 新世纪优秀人才支持计划资助项目 (No. NCET-08-0170); 长江学者和创新团队发展计划资助项目 (No. IRT0915)

1 引言

光纤器件可以对光信号进行连接、合成、转换、分叉和控制,是光纤通信系统、光纤局域网及各类光纤传感系统中必不可少的器件^[1-2]。熔锥法是光纤器件制造中的重要方法,这种方法通过加热使光纤熔化,同时在两端拉伸光纤,使光纤熔融区域成为锥形过渡段。这种方法不仅可以制作光纤耦合器,还可以构成光纤偏振器、光纤滤波器、波分复用器等^[3-6]。

在光纤器件制造中细径、超细径光纤不仅可以减小器件和相应部件的体积,而且可以显著提高器件性能。以包含光纤耦合器和偏振器的光纤陀螺为例,采用相同长度的细径和超细径光纤可以缩小光纤陀螺体积,相同体积的陀螺可以通过增加光纤长度提高光纤陀螺的精度^[7-9]。随着光纤器件所用光纤的直径从常规的 $125\ \mu\text{m}$ 向几十微米的超细径尺寸延伸,对光纤熔融拉伸过程的控制提出了更高的要求,其中拉伸力的控制直接影响光纤器件的质量,因此,研究面向光纤熔融拉伸的电磁力施加装置具有重要的应用价值。

目前,针对普通直径的光纤拉伸技术的研究已有很多,在熔融拉锥的实现方式上一般采用电机与滚珠螺杆相结合的方式^[3-4, 10-11],而这种方式较少考虑拉伸过程中的拉伸力控制。本文针对超细径光纤熔融拉伸需求提出了一种光纤熔融拉伸机构,采用电磁线圈的电磁力控制光纤器件制作中的拉伸力,并在有限元分析的基础上进行了电磁力施加装置的优化设计以及相关的实验研究。

2 电磁力施加装置结构

包含电磁力施加装置的光纤拉伸机构如图 1 所示,主要由薄弹性连接片、左右联动鼓轮、左右光纤支架、永磁铁和电磁线圈组成。薄弹性连接片连接左右鼓轮,实现两鼓轮联动,将电磁力转化成光纤拉伸力。光纤被固定于光纤支架上,两个联动鼓轮大小相等,运动对称,永磁铁胶接于短圆柱支架上,该短圆柱支架固定于右光纤支架上。由于本机构通过鼓轮旋转运动实现光纤拉伸,所以鼓轮安装时需保证同轴度。当线圈中通以一定电流时,线圈与磁铁间产生电磁吸力,吸引永磁铁

沿 y 轴负向运动,从而带动右边鼓轮支架以鼓轮轴承为旋转轴向右作旋转运动。由于两个鼓轮联动,所以左边鼓轮支架作反向的旋转运动,这时固定于左右光纤支架顶端的熔融光纤随着支架的运动而被拉伸。

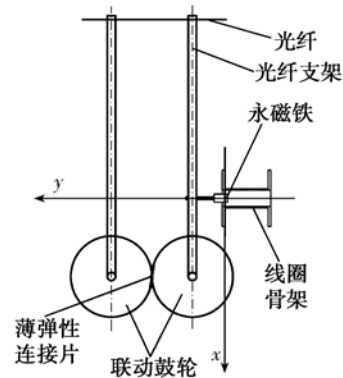


图 1 光纤拉伸机构示意图

Fig. 1 Diagram of optical fiber stretching mechanism

3 电磁力的有限元分析与计算

3.1 建立模型

通过有限元方法计算永磁铁和电磁线圈之间电磁力,首先设定一组典型参数如下:

线圈:匝数 $N=1\ 357$,线径 $d=0.404\ \text{mm}$,电流为 $0.4\ \text{A}$ 。

永磁铁:材料钕铁硼,直径 $d_0=6\ \text{mm}$,长度 $l=10\ \text{mm}$,在坐标系中位置 $y=-2\ \text{mm}$,矫顽力 $H_c=1\ 022\ 570.51\ \text{A/m}$,剩磁 $B_r=1.285\ \text{T}$,相对磁导率 $\mu_r=1$ 。

以 y 轴为对称轴在 ANSYS 中建模如图 2 所示,网格划分如图 3 所示。

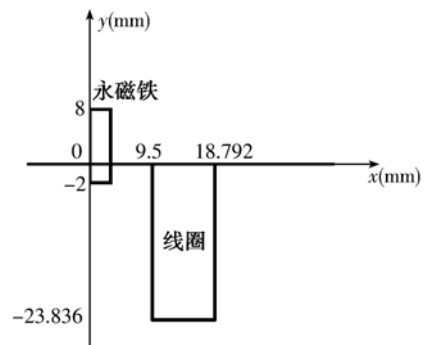


图 2 永磁铁-通电线圈 2D 轴对称模型

Fig. 2 Two dimensional axisymmetric model of permanent magnet-coil

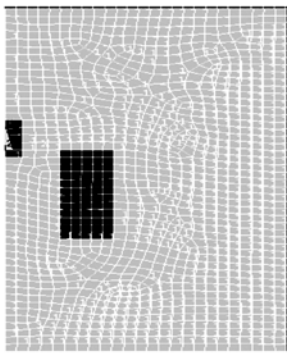


图 3 有限元网格划分
Fig. 3 Finite element mesh

在线圈单元上施加电流密度,在空气单元边界上施加平行边界条件后求解,得到 2D 磁力线图,如图 4 所示,节点磁场强度等值云图如图 5 所示。通过将永磁体单元生成组件获得永磁体与电磁线圈间的电磁力 F 。



图 4 2D 磁力线分布图
Fig. 4 Two dimensional distribution of flux lines

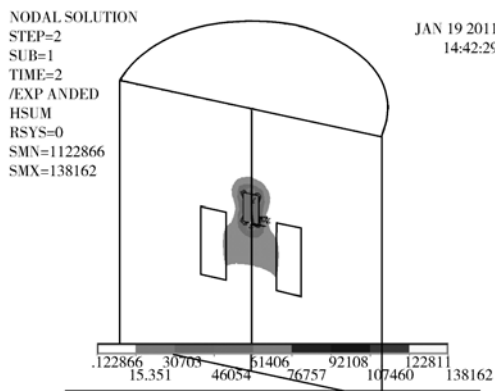
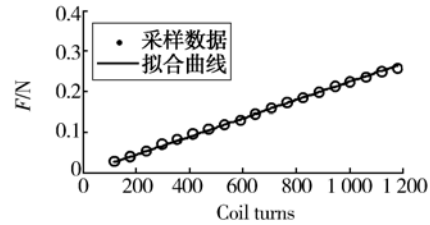


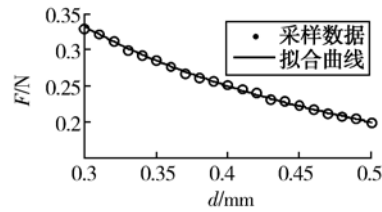
图 5 扩展后的节点磁场强度等值云图
Fig. 5 Expanded node equivalent magnetic field intensity

3.2 电磁力 F 与线圈参数的数学关系式

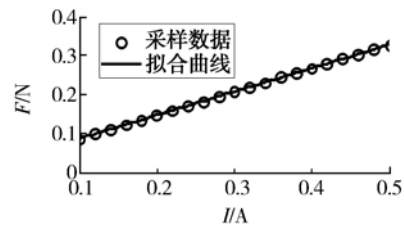
采用单一变量原则建立电磁力 F 与线圈匝数 N 、铜线线径 d 、铜线电流 I 以及永磁体相对位置 y 之间的数学关系式,对仿真数据进行数据拟合得到拟合曲线分别如图 6(a)~(d)所示,拟合关系式如式(1)、(2)、(3)、(4)所示。



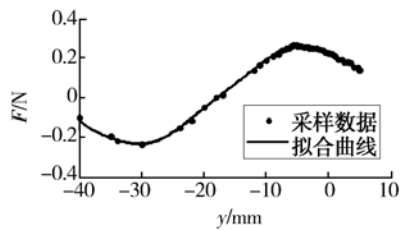
(a) F - N 关系曲线
(a) Magnetic force vs. coil turns



(b) F - d 关系曲线
(b) Magnetic force vs. copper wire diameter



(c) F - I 关系曲线
(c) Magnetic force vs. wire current I



(d) F - y 关系曲线
(d) Magnetic force vs. relative position of permanent magnetic

图 6 电磁力与线圈各参数间的关系曲线

Fig. 6 Relation curves of electromagnetic force and coil parameters

$$F \approx 2.235\ 955\ 9 \times 10^{-4} N, \quad (1)$$

式中: F 为永磁铁与通电线圈间电磁力; N 为线圈的匝数。

$$F \approx \frac{9.961\ 139\ 05 \times 10^{-2}}{d}, \quad (2)$$

式中: d 为通电线圈线径。

$$F \approx 0.710\ 770\ 1 \cdot I, \quad (3)$$

式中: I 为通电线圈中的电流。

$$F \approx 0.199\ 1 \cdot \sin(0.025y + 3.513) + 0.315 \cdot \sin(0.104y + 1.786) + 0.011\ 18 \cdot \sin(0.424y + 4.183), \quad (4)$$

式中: y 为永磁铁在通电线圈中的位置。

由式(1)、(2)、(3)可知,电磁力 F 与匝数 N 、线径 d 的倒数、电流 I 成正比例关系,因此可设

$$F = k \cdot \frac{NI}{d}. \quad (5)$$

由式(1)、(2)、(3)、(5)可推导出在永磁铁一定,永磁铁与通电线圈位置一定($y = -2$ mm)时,电磁力 F 与 N, I, d 间的关系式为

$$F = 2.086\ 834\ 1 \times 10^{-4} \cdot \frac{NI}{d}. \quad (6)$$

从而得出在普遍情况下, F 与 N, I, d 间的关系式为

$$F = k_1 \cdot k_2(y) \cdot \frac{NI}{d}. \quad (7)$$

其中, k_1 表示永磁铁的各项参数对电磁力的影响系数, $k_2(y)$ 表示永磁铁与通电线圈的相对位置 y 对电磁力的影响系数, $k_2(y)$ 可视为 y 的函数。

4 电磁线圈的优化设计

根据应用中光纤熔融拉伸系统的实际需求,技术要求为:线圈骨架直径 ≤ 50 mm, 长度 ≤ 40 mm, 光纤拉伸力为 $0 \sim 24.5$ mN, 光纤拉伸力分辨率为 $49 \mu\text{N}$ 。

光纤拉伸机构中的力矩平衡关系如式(8)所示:

$$F_1 \cdot l_1 \cdot \theta = F_2 \cdot l_2 \cdot \theta \times 2. \quad (8)$$

其中, F_1 表示电磁力施加装置中的电磁力; l_1 表示电磁力施加装置与轴承中心的径向距离; θ 表示轴承支架的转角; F_2 表示光纤拉伸机构中光纤拉伸力; l_2 表示光纤所在处与支架底部轴承中心的径向距离。考虑机构中部件磨损,在式(8)左端

乘以效率 $\eta = 82.5\%$, 将光纤拉伸力最大值 24.5 mN 代入,得到电磁力是 $0 \sim 195.078\ 8$ mN; 将光纤拉伸力分辨率 $49 \mu\text{N}$ 代入得出电磁力分辨率(不计磨损)是 $321.881 \mu\text{N}$ 。由式(7)可得

$$F = k_1 \cdot k_2(y) \cdot \frac{NI}{d} = k_1 \cdot k_2(y) \cdot \left(\frac{L}{d} \cdot \frac{D-D_1}{2d} \right) \frac{U}{Rd}. \quad (9)$$

其中, L 表示线圈的缠绕长度; D 表示线圈外径; D_1 表示线圈内径; U 表示 D/A 卡两端电压; d 表示导线最大外径; R 表示控制电路电阻。

由技术要求中限制条件及式(9)建立约束方程如下:

$$\begin{cases} \frac{U}{R} \leq I_m \\ 0 < I \leq I_{\max} \\ D_{\min} \leq D_1 < D \leq D_{\max} \\ 0 < U \leq U_{\max} \\ d_{\min} \leq d \leq d_{\max} \\ F = k_1 \cdot k_2(y) \cdot \frac{UL(D-D_1)}{2Rd^3} \geq F_{\max} \\ F' = k_1 \cdot k_2(y) \cdot \frac{U_{\text{reso}} \cdot L(D-D_1)}{2Rd^3} \leq F'_{\text{reso}} \end{cases}. \quad (10)$$

其中, I_m 表示导线中的最大电流,按 2.5 A/mm² 计算;取 $L_{\max} = 36$ mm; $D_{1\min} = 14$ mm; $D_{\max} = 48$ mm; $U_{\max} = 10$ V; $d_{\min} = 0.085$ mm; $d_{\max} = 2.54$ mm; F_{\max} 表示电磁力的最大值,取 $F_{\max} = 195.078\ 8$ mN; F' 表示电磁力分辨率; U_{reso} 表示 D/A 卡的分辨率,取 $U_{\text{reso}} = 2.442$ mV; F'_{reso} 表示由技术要求计算得到的电磁力分辨率,取 $F'_{\text{reso}} = 321.881 \mu\text{N}$ 。优化目标为电磁力分辨率达到最小值,目标函数为

$$F' = k_1 \cdot k_2(y) \cdot \frac{U_{\text{reso}} \cdot L(D-D_1)}{2Rd^3}. \quad (11)$$

编写程序进行求解,优化设计后电磁力达到 $0 \sim 195.109\ 2$ mN,电磁力分辨率达到 $49.718\ 3 \mu\text{N}$; 光纤拉伸力达到 $0 \sim 24.503\ 9$ mN,光纤拉伸力分辨率达到 $7.568\ 7 \mu\text{N}$ 。线圈参数:匝数 $N = 151\ 8$, $L = 32$ mm, $D_1 = 14$ mm, $D = 36.080$ mm,铜线标称直径 $d_1 = 0.440$ mm,铜线最大外径 $d = 0.480$ mm。

5 电磁力控制电路设计

电路设计的目的是通过改变 D/A 卡电压 U 来调节线圈电流 I ,从而调节电磁力 F 。系统采

用 12 位 D/A 卡,电压为 0~10 V,由于每步电压变化量很小,反映在线圈电流上的变化也较小,可以实现精细电流调节控制电磁力。电路图如图 7 所示。

电路的工作过程为:调节 D/A 卡两端电压 U ,使得 $U_{GS} \geq U_T$,这时线圈中出现电流,通过调节 U 可直接控制线圈中的电流 I ,它们间的关系如式(12)所示。

$$I = \frac{U}{R}. \quad (12)$$

其中 R 表示控制电路中的并联电阻阻值。在工作状态下,电路中电流的流向是:24V 电源正极→线圈→MOSFET 漏极→MOSFET 源极→并联的精密电阻→地。因此,线圈中电流与流过精密电阻的电流为同一电流 I ,只要确定了 MOSFET 源极的电压值 U_s ,用 U_s/R 即为电流 I ;由 op07 运算放大器的特性可知 $V_+ \approx V_-$,故 $U_s \approx U$ 。

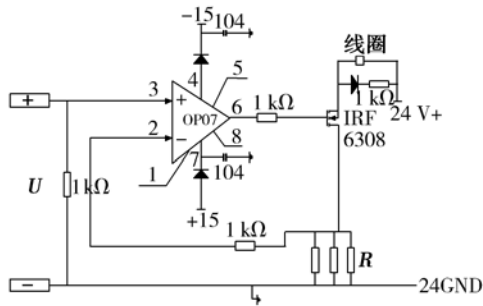


图 7 电磁力控制电路

Fig. 7 Control circuit of electromagnetic force

6 电磁力施加装置实验

利用悬臂梁的形变间接测量电磁力,测量原理如图 8 所示。将永磁铁固定在悬臂梁末端,线圈固定于永磁铁下方,线圈中心与永磁铁中心同轴,在电磁力的作用下悬臂梁发生形变,利用电容型传感器 capaNC DT-6500 (Micro-Epsilon 德国米铱公司)测量悬臂梁的变形来计算相应的电磁力。

基于悬臂梁的导电性及无磁性要求,选择适当尺寸的铝片作为悬臂梁。悬臂梁受力简图如图 9 所示,悬臂梁变形公式如式(13)所示,其中 b, h 分别表示悬臂梁的截面宽度和高度; l 表示悬臂梁的伸出长度; x 表示悬臂梁上某点与末端的距离; F 表示悬臂梁末端加载的集中力,方向竖直向下; ξ 无实际物理意义; I 表示悬臂梁的截面惯性

矩; E 表示悬臂梁的弹性模量; f_A 表示在力 F 作用下悬臂梁末端的挠度; f_x 表示在力 F 作用下距悬臂梁末端 x 处该点的挠度。

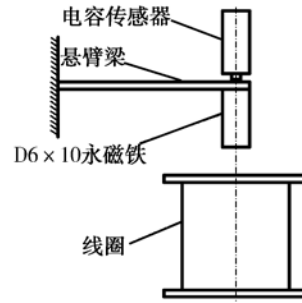


图 8 间接测量法原理图

Fig. 8 Schematic diagram of indirect measurement

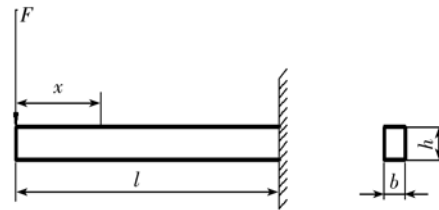


图 9 悬臂梁受力示意图

Fig. 9 Schematic diagram of force on cantilever

$$\begin{cases} \xi = \frac{x}{l} \\ I = \frac{bh^3}{12} \\ f_A = \frac{Fl^3}{3EI} \\ f_x = \frac{Fl^3}{6EI} (2 - 3\xi + \xi^3) \end{cases} \quad (13)$$

考虑执行不同实验时所测力跨度较大,采用 3 种尺寸的悬臂梁分别进行不同的实验测量。悬臂梁 I 尺寸为 40.90 mm × 6.42 mm × 0.40 (长 × 宽 × 厚) mm,悬臂梁 II 为 40.87 mm × 5.98 mm × 0.44 mm,悬臂梁 III 为 44.96 mm × 5.84 mm × 1.82 mm。建立实验平台如图 10 所示。

由于悬臂梁的长度较短,其受力不能简化为集中力处理,需建立有限元模型进行受力分析,以悬臂梁 I 为例,测量位置 $x = 28$ mm (见图 9),得到理论变形曲线如图 11 所示,拟合表达式为:

$$F = 7.764 0 \times 10^{-3} \cdot \Delta\xi + 3.1 \times 10^{-6}. \quad (14)$$

其中, F 表示永磁铁上施加的载荷, $\Delta\xi$ 表示 $x = 28$ mm 处由力 F 所引发的变形。类似地,可得悬臂梁 II 和 III 的拟合表达式分别为:

$$F = 6.047 \times 10^{-4} \cdot \Delta\xi + 8.624 \times 10^{-8}, \quad (15)$$

$$F = 2.66147 \times 10^{-2} \cdot \Delta\xi + 5.625 \times 10^{-7}. \quad (16)$$

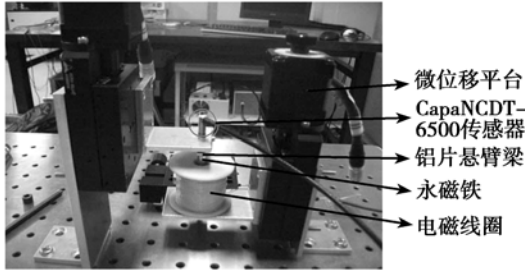


图 10 电磁力实验平台

Fig. 10 Platform for electromagnetic force measurement

使用悬臂梁 III 在 $x=12\text{ mm}$ 处进行电磁力最大值的测定,用电容型传感器 capaNCDT6500 测其变形,进而得出电磁力大小。电磁力与电流的关系曲线如图 12 所示,可知实验测得的电磁力与线圈电流成正比例关系,与校准曲线吻合;电磁力最大值为 0.2076 N ,则光纤拉伸力最大值为 26.073 mN 。

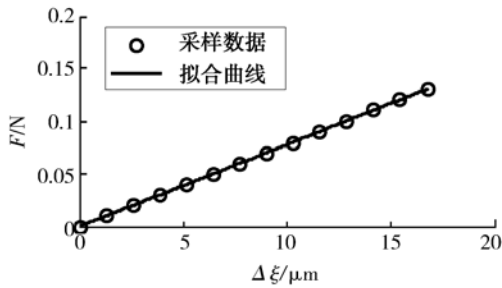


图 11 悬臂梁 I 在 $x=28\text{ mm}$ 处的理论变形曲线

Fig. 11 Theoretical deformation curve of cantilever I at $x=28\text{ mm}$

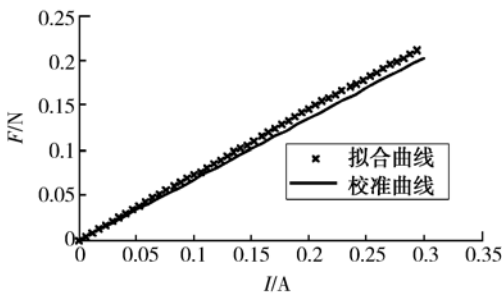


图 12 电磁力 F 与电流 I 的关系曲线

Fig. 12 Relation between electromagnetic force F and current I

使用悬臂梁 II 在 $x=12\text{ mm}$ 处进行电磁力分辨率的测定,进而得到电磁力分辨率大小。实验测得的电磁力分辨率与理论分辨率的对比曲线如图 13 所示,可知电磁力分辨率为 $49.0872\text{ }\mu\text{N}$,则光纤拉伸力分辨率为 $7.473\text{ }\mu\text{N}$ 。

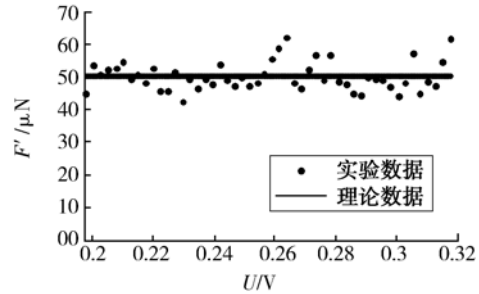


图 13 电磁力分辨率实验值与理论值关系曲线

Fig. 13 Relation between experimental and theoretical values of electromagnetic force resolution

电磁力 F 与永磁铁位置 y 的关系的测定使用了悬臂梁 I,在 $x=28\text{ mm}$ 处测量。图 14 显示了在电压 $U=6\text{ V}$ 与 $U=9\text{ V}$ 两种情况下,电磁力 F 与永磁铁位置 y 的关系曲线,与图 6(d)对比可知,当 y 在 $[-7.4\text{ mm}, 8.0\text{ mm}]$ 时,三条曲线的变化趋势相当吻合。

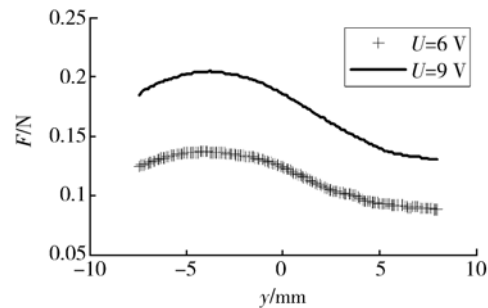


图 14 电磁力 F 与永磁铁位置 y 关系曲线

Fig. 14 Relation between electromagnetic force F and permanent magnet location y

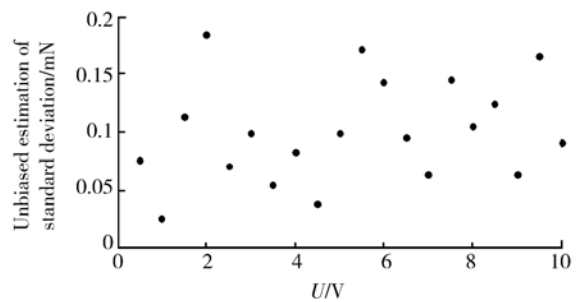


图 15 不同电压下电磁力的重复性

Fig. 15 Repeatability of electromagnetic force under different voltage

重复性实验用悬臂梁 III 进行测试,测量位置为 $x=12\text{ mm}$,电压 U 从 $0\sim 10\text{ V}$ 按 0.5 V 增量顺序加载,每加一次电压记录一组数据;每组数据的记录方式为每隔 60 s 记录一次,记录 8 次,计算标准偏差的无偏估计值^[12]。图 15 显示了不同电压下计算而得的电磁力的标准差的无偏估计,最大标准差为 0.1875 mN 。

上述实验结果表明,所设计的电磁力施加装置满足光纤熔融拉伸中电磁力指标要求。

7 结 论

本文提出了一种用于超细径光纤熔融拉伸的

电磁力施加装置,通过有限元电磁仿真建立了拉伸机构中电磁力与线圈各参数间的关系式。基于光纤熔融拉伸系统的结构特点建立了线圈参数优化的约束条件式,获得了电磁力最大值与分辨率的最优解。并设计了面向光纤熔融拉伸的电磁力控制电路,采用测量悬臂梁形变方法验证了电磁力与线圈电流之间的线性关系,同时验证了电磁力与永磁铁位置间关系的变化趋势。实验结果表明,光纤拉伸力可达 26.073 mN ,分辨率达到 $7.473\text{ }\mu\text{N}$,满足超细径光纤器件制作中熔融拉伸的技术要求。

参考文献:

- [1] 徐钦峰,刘琼,叶青,等. 基于光纤器件的超短脉冲自相关仪[J]. 中国激光,2010,37(6):1607-1612.
XU Q F, LIU Q, YE Q, *et al.*. Auto-correlator for ultra-short pulse laser measurement based on optical fiber devices [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2010, 37(6):1607-1612. (in Chinese)
- [2] 高存孝,朱少岚,冯莉,等. 用于分布式光纤传感的全光纤激光器[J]. 中国激光,2010,37(6): 1501-1504.
GAO C X, ZHU SH L, FENG L, *et al.*. An all fiber laser for distributed optical fiber sensor [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2010, 37(6): 1501-1504. (in Chinese)
- [3] WONG Y W, CHOY K L. The manufacturing of an optical fiber coupler by the fusion elongation method [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 1997,63: 806-809.
- [4] HSIEH C S, WU T L, CHENG W H. An optimum approach for fabrication of low loss fused fiber couplers [J]. *Materials Chemistry and Physics*, 2001,69: 199-203.
- [5] PAL P, CHAUDHURI R, SHENOY M R. Fabrication and modeling of fused biconical tapered fiber couplers [J]. *Fiber and Integrated Optics*, 2003, 22: 97-117.
- [6] HONG L F, GE CH F. The full wave optical fiber coupler of the fused taped [J]. *Acta Physica Sinica*, 2003, 52(2): 390-394.
- [7] 郭喜庆,武克用. 新型陀螺经纬仪的研究与应用 [J]. 光学精密工程,2001,9(2):182-185.
GUO X Q, WU K Y. New type gyro theodolite and its applications [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2001, 9(2): 182-185. (in Chinese)
- [8] 马东营,宋凝芳,金靖,等. 微型光纤陀螺组合分时复用技术[J]. 光学精密工程,2010,18(10): 2171-2177.
MA D Y, SONG N F, JIN J, *et al.*. Time-division multiplexing for micro-miniature fiber-optic gyroscopes [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(10): 2171-2177. (in Chinese)
- [9] 李绪友,杨汉瑞,杨建华,等. 光纤耦合器稳定性分析及对光纤陀螺的影响[J]. 中国惯性技术学报, 2010, 18(2): 246-250.
LI X Y, YANG H R, YANG J H, *et al.*. Analysis of stability of optical fiber coupler splitting ratio and its influence on FOG [J]. *Journal of Chinese Inertial Technology*, 2010, 18(2): 246-250. (in Chinese)
- [10] 帅希士. 电加热式熔融拉锥机的运动控制研究 [D]. 长沙:中南大学,2006.
SHUAI X SH. *Electric heating fused biconical taper machine motion control research*[D]. Changsha: Central South University, 2006. (in Chinese)
- [11] 孙伟民,石帅,戴强. 拉锥光纤的制作工艺与测试方法[J]. 光电子·激光,2009,20(11):1474-1477.
SUN W M, SHI SH, DAI Q. Fabrication and measurement of tapered fibers[J]. *Journal of Optoelectronics • Laser*, 2009, 20(11): 1474-1477. (in Chinese)

- [12] 黄景祥. 标准偏差的无偏估计及贝塞尔公式修正系数的简便计算[J]. 计量技术, 1990, 6: 36-38.
HUANG J X. Unbiased estimation of standard de-

viation and modification of coefficient for Bézier function[J]. *Measurement Technique*, 1990, 6: 36-38. (in Chinese)

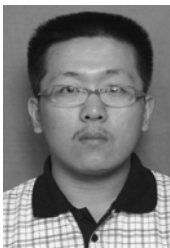
作者简介:



荣伟彬(1972—),男,黑龙江兰西人,教授,博士生导师,2002年于哈尔滨工业大学获得博士学位,主要从事纳米微驱动及微纳操作技术与装备的研究。E-mail: rwb@hit.edu.cn



王乐锋(1980—),男,河南商丘人,助理研究员,硕士生导师,2008年于哈尔滨工业大学获得博士学位,主要从事微操作方法及其关键技术研究。E-mail: lefengwang@126.com



关楠楠(1989—),男,山西临汾人,硕士研究生,2011年于哈尔滨工业大学获得学士学位,主要从事保偏光纤对接及光纤拉伸方面的研究。E-mail: moyunjinchigunn@sina.com



孙立宁(1964—),男,黑龙江鹤岗人,教授,博士生导师,1993年于哈尔滨工业大学获得博士学位,主要从事纳米级微驱动及微操作机器人方面的研究。E-mail: lnsun@robinst.hit.edu.cn

●下期预告

双通道激光主动探测系统

刘秉琦¹,周 斌^{1,2},武东生^{1,3},张 瑜¹

(1. 军械工程学院 光学与电子工程系,河北 石家庄 050003;

2. 中国人民解放军 71192 部队,山东 文登 264400;3. 北京理工大学 光电工程系,北京 100081)

为了有效探测“猫眼”目标的微弱回波信号并获得目标区域的直观图像信息,设计了基于 APD 单元探测器和 CCD 面阵探测器的双通道激光主动探测系统。首先,依据系统所要完成的基本功能,介绍了硬件设计的基本思路,包括各模块功能、组成和主要部件所采用的型号;然后,针对双通道探测模式的关键技术,阐述了 APD 探测模式下的接收放大电路设计方法,并简要分析了 CCD 探测模式下的响应波长匹配问题;最后,在外场条件下,利用望远镜和激光测距机等典型“猫眼”目标对该双通道激光主动探测系统进行了实验验证。实验结果表明,利用 APD 探测模式进行探测时,550 m 距离上望远镜的回波能量响应是类镜面目标回波能量响应的 2.87 倍以上,利用 CCD 探测模式进行探测时,550 m 距离上望远镜的回波能量响应是背景目标回波能量响应的 2.72 倍以上,2 500 m 距离上激光测距机光学窗口的回波能量响应是背景目标回波能量响应的 2.31 倍以上。该双通道激光主动探测系统可将典型“猫眼”目标从背景及干扰目标中清晰检出,从而验证了探测系统设计的合理性和有效性。