

## 电磁选针器选针刀头摆动驱动力矩的测量

项宏年,袁嫣红,向 忠

(浙江理工大学浙江省现代纺织装备技术重点实验室,杭州 310018)

**摘 要:**电磁选针器选针刀头摆动驱动力矩是决定选针频率和选针稳定性的重要因素。为了满足高速针织设备高频率选针的要求,需要通过驱动力矩的测量和分析对高性能选针器进行优化设计。设计了一种基于STM32嵌入式微处理器的电磁选针器选针刀头摆动驱动力矩的测量系统。针对数量级在1~30 g的微小力测量,设计了高精度的信号处理电路和数值处理方法,以准确测量选针刀头在摆动过程中各位置的驱动力矩。通过人机交互方式实现测量,将所测得数据以文本的形式保存至SD卡中,用于后期驱动力矩与选针位置关系的研究。

**关键词:**电磁选针器;驱动力矩;STM32嵌入式微处理器;测量系统

**中图分类号:** TS183.4

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-3851 (2018) 03-0189-06

### 0 引 言

随着电子产业的飞速发展,人们不断改进针织机械的工作方式,将针织机械与电子技术进行深度融合,提出机电结合的选针方案<sup>[1]</sup>。大部分圆纬机采用电磁选针器或压电陶瓷式选针器进行选针。随着圆纬机运转速度的提高和机号的增大,与其相匹配的电磁选针器需要更高的响应速度和稳定性才能达到正常运行的要求<sup>[2-3]</sup>。

电磁选针器通过被励磁线圈磁化的铁芯与两块永磁体分别产生吸力和斥力,两者的合力驱动选针刀头绕旋转轴摆动以实现选针。该合力与选针刀头到旋转轴的距离相乘,即为本文所研究的电磁选针器选针刀头摆动驱动力矩(简称驱动力矩)。由于驱动力矩是决定选针频率和选针稳定性的一个重要因素,因此对电磁选针器性能的优化需分析选针刀头的驱动力矩。近年来,有关选针器性能的研究,设计的测量系统以选针频率作为研究对象,如利用频闪成像原理进行选针频率的检测<sup>[4]</sup>。以驱动力矩作为研究对象,仅仅是理论上的分析,缺少测量系统的实际测量。廖炜等<sup>[5]</sup>通过高斯计测量气隙处的磁感应

强度,用公式运算得到驱动力矩。该方法测量和计算过程复杂,需简化参数,从而造成较大误差。卢怡等<sup>[6]</sup>采用经验公式与电磁场有限元分析软件相结合的方法来实现电磁选针器的优化。虽然该方法对电磁选针器的优化设计有一定帮助,但是经验公式的局限性使得优化结果可能与实际情况差别较大。文献<sup>[7-9]</sup>仅采用有限元软件对选针器的性能进行仿真与分析。因此,通过测量实际驱动力矩,将实际结果与仿真结果进行比较,从而辅助设置更合适的仿真参数,使得仿真结果与实际结果更接近,以利于电磁选针器的优化设计。

基于上述情况,本文设计了一套电磁选针器选针刀头摆动驱动力矩的测量系统。该测量系统采用三级架构的设计思想,方便维护与使用。针对数量级在1~30 g微小力的测量,设计了高精度的信号处理电路和数值处理方法。运用本套测量系统可以测量选针器在摆动过程中各位置的驱动力矩,全面掌握驱动力矩的变化情况,为优化设计电磁选针器的结构和驱动方式提供了基础。除此之外,测量的实际结果为优化选针器仿真分析提供验证条件,使得建立的仿真模型更符合实际情况。

收稿日期:2017-08-25 网络出版日期:2017-12-08

基金项目:国家自然科学基金项目(51605443,U1609205)

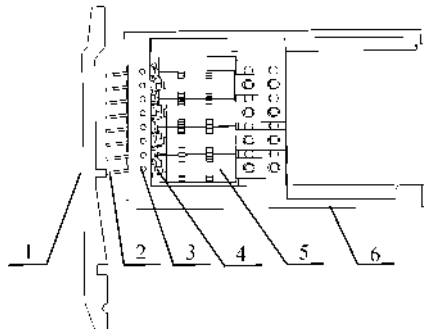
作者简介:项宏年(1993-),男,浙江温州人,硕士研究生,主要从事纺织设备方面研究。

通信作者:袁嫣红,E-mail:yyh@zstu.edu.cn

## 1 测量对象与原理

### 1.1 测量对象

电磁选针器的结构如图1所示。永磁体4受铁芯工作端的电磁力作用而绕着旋转轴3摆动,进而带动其固连的选针刀头2摆动。选针刀头2的摆动控制圆纬机的提花片1的工作位置,从而达到选针的目的。本套测量系统的测量对象为选针刀头2,测量其从一端摆至另一端的驱动力矩大小。



1. 提花片;2. 选针刀头;3. 旋转轴;4. 永磁体;  
5. 绕有线圈的铁芯;6. 选针器壳体

图1 电磁选针器整体结构

### 1.2 测量原理

由于所测量力的数量级在1~30 g,本系统选用量程范围为0~30 g的悬臂梁压力传感器。悬臂梁压力传感器由弹性体、电阻应变片、电缆线等组成,其内部电路采用惠更斯电桥,内部电路如图2所示。

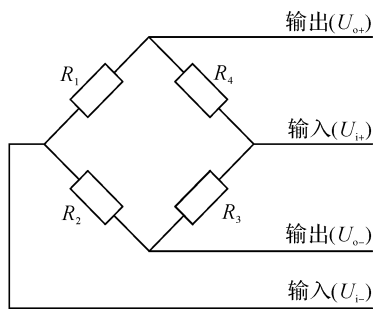


图2 悬臂梁压力传感器内部电路

基于悬臂梁压力传感器的测量装置示意如图3所示,当悬臂梁压力传感器的弹性体受外部压力 $F$ 作用产生变形时,传感器上端电阻应变片随弹性体受到拉伸,下端电阻应变片随弹性体受到压缩,使得电阻阻值发生变化,造成电桥失衡,产生相应的差动信号。差动信号的电压值与电阻阻值变化近似线性关系,压力变化与输出电压变化成线性对应关系。差动信号经过信号处理电路后即可接入ADC采样接口。通过测量处理后的电压,参照压力与输出电压的对应关系,即可得出所加载的压力值。

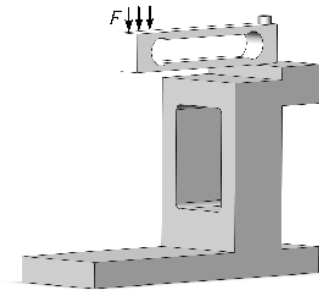


图3 基于悬臂梁压力传感器的测量装置示意

## 2 测量系统硬件设计

### 2.1 系统整体结构

电磁选针器选针刀头摆动驱动力矩的测量系统采用分级式架构,由交互级、控制级、执行级三级架构,其整体框架如图4所示。

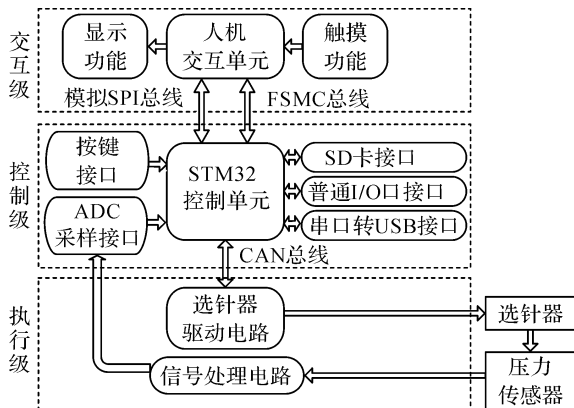


图4 测量系统的整体框架

交互级由液晶屏和触摸屏组成,通过FSMC总线和模拟SPI总线与控制级进行数据与信号的传输。交互级主要用于设定参数、反馈采样信息、传输命令等。

控制级是以STM32控制单元为核心,扩展了按键接口、ADC采样接口、串口转USB接口、SD卡接口、普通I/O接口。控制级是测量系统的核心部分,向上控制人机交互界面,向下进行驱动模块的控制和采样的处理。

执行级由选针器驱动电路、信号处理电路组成。控制级通过CAN总线将摆动指令传至执行级,使得选针刀头进行上下摆动。选针刀头通过压力传感器将力矩转化成电压信号,经过信号处理电路后接入控制级的ADC采样接口,得到采样值。通过对采样值进行数值处理,即可得到选针刀头的驱动力矩。针对不同的执行级,如其它微小被测对象,只需修改与设计执行级即可。

### 2.2 系统硬件设计

#### 2.2.1 显示面板

本套测量系统采用秉火3.2寸的显示面板,该

显示面板将液晶屏和触摸屏整合在一起,并且带有相关驱动电路,节省了设计驱动电路时间。液晶屏驱动芯片 ILI9341 最高能够控制 18 位来描述像素点。为了方便传输数据,本系统采用 16 位控制模式,即 R、G、B 三原色描述的位数分别为 5 : 6 : 5, 足以满足显示屏的显示要求。

### 2.2.2 STM32 控制单元

STM32 控制单元是控制级的核心部件,本系统采用以 Cortex-M3 为内核的 STM32F103ZET6 芯片。该芯片最高时钟频率为 72 MHz,内置 512 KB 的 Flash 和 64 KB 的 SRAM,满足本套系统的设计。按键接口与 STM32 微处理器的外部中断引脚连接,用于触发微处理器的外部中断,从而执行相应的功能。ADC 采样接口用于采集输出的电压信号,得到电压采样值。STM32 微处理器具备 12 位精度的 ADC 采样模块,其最小量化单位 LSB 为 0.806 mV,采样时间  $t$  最短为 1  $\mu$ s,满足本套系统的采样工作。串口转 USB 接口将调试信息和采样信息传输到计算机端,便于信息查看。SD 卡接口用于与存储介质 SD 卡连接,存储电压采样值,用于后期驱动力矩与选针位置关系的研究。

### 2.2.3 信号处理电路

压力传感器将压力转化为模拟电压信号,输出的模拟电压信号单位为毫伏级,并且数值较小。如果直接对该模拟电压信号进行 ADC 采样,则采样结果不准确,误差较大。因此,为了提高采样精度,需对模拟电压信号进行适当放大。信号放大电路采用 LM358 芯片,其具有高增益、低功耗、内部频率补偿等特点,适合对压力传感器的信号处理。信号处理电路如图 5 所示,该信号处理电路分为两级,第一级电路对输入差分信号进行比例运算,第二级电路对第一级电路的输出电压进行放大。结合加减运算电路,将电阻  $R_1$  和电阻  $R_2$  设置为 10 k $\Omega$ ,将电阻  $R_3$  和电阻  $R_4$  设置为 100 k $\Omega$ ,使得参数对称,实现对输入差分信号的比例运算。第一级电路的计算公式为  $u_{o1} = R_3 \times \left( \frac{u_1}{R_1} - \frac{u_2}{R_1} \right)$ 。第二级电路采用同相比例运算电路,故使得电路具有高输入电阻、低输出电阻的优点。为了使得两级放大倍数可达 100 倍,故设置电阻  $R_7$  为 100 k $\Omega$ ,电阻  $R_5$  和电阻  $R_6$  为 10 k $\Omega$ 。第二级电路的计算公式为  $u_{o2} = u_{o1} \times \left( 1 + \frac{R_7}{R_6} \right)$ 。联合两级电路的计算公式,可得  $u_{o2} = R_3 \times \left( \frac{u_1}{R_1} - \frac{u_2}{R_1} \right) \times \left( 1 + \frac{R_7}{R_6} \right)$ 。电路中的电容用于过滤电源杂波与高频信

号的干扰,设置  $C_1$ 、 $C_2$  为 0.1  $\mu$ F,设置  $C_3$  为 1.0 nF。该信号处理电路实现信号的滤波与放大,将处理后的信号送入电压变送器,使其输出电压符合 STM32 微处理器的 ADC 采样电压范围。

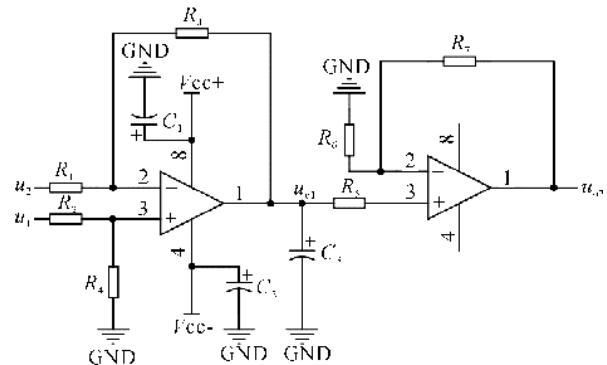


图 5 信号处理电路

### 2.2.4 电磁选针器驱动电路

电磁选针器主要结构由线圈、铁芯、永磁体等组成,有向上摆动或向下摆动的两种运动状态,故采用双电源的形式。电磁选针器驱动电路采用以 STM32F103C8T6 为核心的微处理器,通过 CAN 总线的方式与控制级进行数据交互。该驱动电路选用大功率的光耦元件,有效地起到信号隔离的效果,增强电路的稳定性<sup>[10]</sup>。驱动电路如图 6 所示。

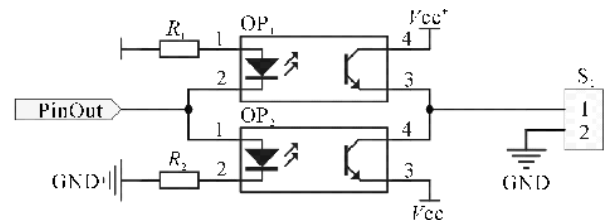


图 6 电磁选针器驱动电路

### 2.2.5 SD 卡接口

为了能在 PC 端对所得数据进行处理,设计 SD 卡接口。通过移植小型的文件系统程序,对 SD 卡进行文件管理,以文本的形式进行存储数据。通过对 SD 卡中的数据进行处理,可得出电压值-摆动位置的曲线。SD 卡模块电路如图 7 所示。

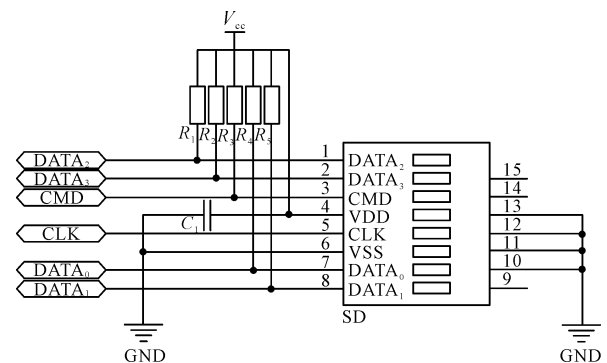


图 7 SD 卡模块电路

### 3 嵌入式测控软件开发

电磁选针器选针刀头摆动驱动力矩测量系统的人机界面是通过基于 STemWin 的软件平台进行开发。在整个软件设计过程中运用模块化方式进行设计。根据实际需求,分类封装不同的功能函数,便于添加功能与维护系统。

选针刀头驱动力矩测量流程如图 8 所示。系统开机后,首先进行触摸屏的屏幕校准,方便后续参数的输入。屏幕校准结束后进入选针刀头驱动力矩测量系统的欢迎界面,欢迎界面包含该本系统的版本号与修订日期,随后进入工作界面。在工作界面上,首先需对测量过程中所需的参数进行设置,例如区间划分  $n$ 、采样次数  $m$ 、力臂数值  $l$  等。区间划分  $n$  表示将电磁选针器选针刀头的摆动区间等角度划分为  $n$  份。采样次数  $m$  表示电磁选针器选针刀头在各个摆动位置进行采样的次数。当每一轮采样结束后,采用中位值平均滤波法对数值进行处理,降低测量误差。经过数值处理后所得的数值即为在该摆动位置的采样值。力臂数值  $l$  表示选针器选针刀头到旋转轴的距离,单位为 mm。

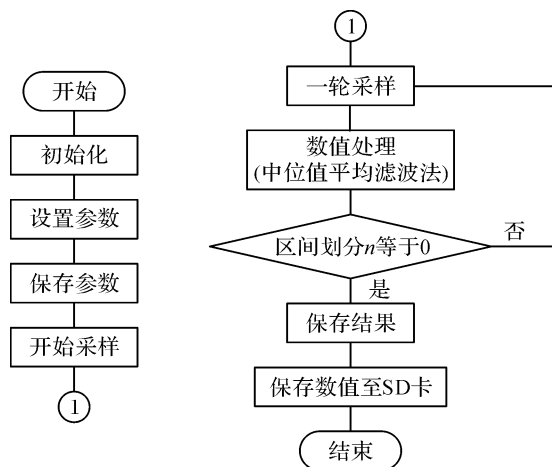


图 8 电磁选针器选针刀头驱动力矩的测量流程

在软件开发过程中,重点在于数值处理的方法。本套系统采用中位值平均滤波法,又称防脉冲干扰平均滤波法。首先,根据采样次数  $m$  动态分配  $m$  字节的内存空间。然后,将每次采样的结果依次保存至该空间内。接着,去掉  $m/4$  个结果中最大值和  $m/4$  个结果中最小值。最后,计算剩余  $m/2$  个数值的平均数,该值即为此位置的最终采样值。该方法融合了中位值滤波法和算术平均滤波法,可消除偶然出现的采样值偏差。

### 4 系统测试与分析

测试系统实物照片如图 9 所示,压力传感器固定在一端,电磁选针器安装在一个可移动的平台,可以快速准确地实现相对位置的调整。

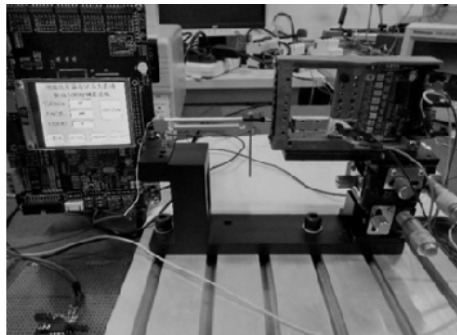


图 9 测试系统实物照片

在系统设计完成后,首先需要进行系统标定。利用精密砝码,可得到压力传感器关于采样电压值-压力值的关系曲线。如图 10 所示,压力传感器的输出电压与压力成线性比例关系,得采样电压值-压力值的关系公式:

$$U = 0.0102 * F - 0.0005.$$

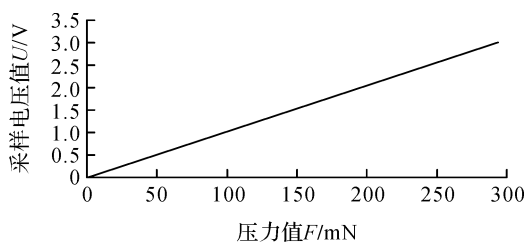


图 10 力传感器的标定结果

如表 1 所示,将采样电压值与理论值进行对比,求得测量系统的最大误差为 3.71%,满足选针器驱动力矩的测量精度要求。

表 1 压力值转化为电压的理论值和实际采样值

压力值 $F/\text{mN}$	理论值 $U_1/\text{V}$	实际采样值 $U_2/\text{V}$
50	0.5295	0.5098
100	1.0571	1.0192
150	1.5847	1.5302
200	2.1123	2.0381
250	2.6399	2.5435
300	3.1675	3.0656

完成标定工作后,开始对驱动力矩进行测量。第一步,设置测量参数。将区间划分  $n$  设为 40,采样次数  $m$  设为 500,力臂数值  $l$  设为 11。设置完成后,点击“实时监测”按钮进入 ADC 实时采样界面。第二步,确定测量驱动力矩的初始位置。首先按下实物按键 1 使得选针刀头受驱动力矩向上摆动,然

后调整可移动平台并观察 ADC 采样实时界面,使得压力传感器和选针器刀头处于正好接触位置。调整完成后,返回主界面。第三步,开始测量选针刀头摆动到各位置的驱动力矩。按下实物按键 2 使得选针刀头受驱动力矩作用向下摆动。点击“开始采样”按钮进行本次位置的测量。等到弹出“本次位置采样结束”的窗口时,说明该位置采样结束。接下来,按照“区间划分  $n$ ”进行等角度调整可移动平台,改变选针刀头的摆动位置。每次调整摆动位置完成后,点击“开始采样”按钮进行本次位置的测量。当调整位置的次数等于  $n$  时,测量完毕后会弹出“本轮采样结束”的窗口,说明本轮各个位置的采样全部结束。第四步,保存数据。点击“保存结果”按钮将本轮所得数据以文本的形式保存到 SD 中。通过电脑的 Excel 软件或者 Matlab 软件处理,可得到“驱动力矩-摆动位置”的曲线图,如图 11 所示。

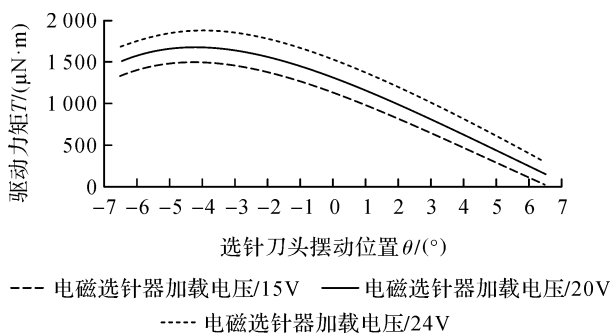


图 11 电磁选针器选针刀头驱动力矩与摆动位置的关系曲线

由图 11 可知,当选针器选针刀头进行摆动的时候,其初始位置的驱动力矩比摆动到位的位置的驱动力矩大,这符合选针器在工作时的要求,即选针刀头需在最短的时间内进行摆动,较大的初始驱动力矩能够使得选针刀头有较大的初始角加速度,从而使得选针刀头快速摆动到位。在摆动过程中,驱动力矩先上升后下降进行变化。在线圈上加载不同的电压值,其驱动力矩不同,且在同一位置,当线圈加载电压越大,其驱动力矩也越大。因此,在优化设计电磁选针器结构时,尽可能增大初始驱动力矩,使其最大的驱动力矩处于初始位置,有利于提高选针器的响应速度。

根据电磁选针器工作特性,选择摆动初始位置和摆动到位位置进行分析,如图 12 所示。无论是在初始位置还是在摆动到位位置,选针刀头的驱动力矩与所加载的电压值成线性关系。除此之外,初始位置的驱动力矩随电压变化的速度相对于摆动到位时的速度较快。结合图 11 和图 12,在驱动方面进行优化时,首先需要选择合适的电压值,然后在选针

刀头开始摆动时,将电源电压全部加载在选针器上,增大初始驱动力矩。待选针刀头摆动到位时,将电压降低到合适的电压来保持驱动力矩,从而可在提花不出错的前提下达到节能省电的效果。

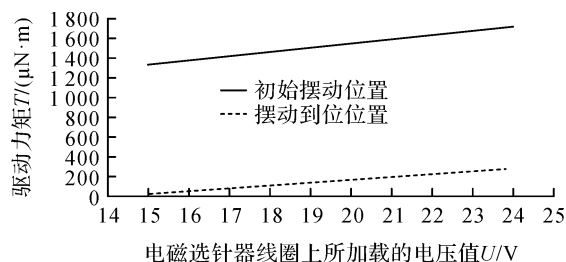


图 12 电磁选针器选针刀头在始末位置的驱动力矩曲线

## 5 结 语

针对无直接可用的选针器驱动力矩测量仪器的现状,本文采用三级架构的设计思想,设计了一种电磁选针器选针刀头摆动驱动力矩的测量系统,用于数量级在 1~30 g 微小力的测量。该系统采用三级架构,方便软硬件的管理与维护。本套测量系统同样适用于其它微小力被测对象,具有通用性。

通过对标定结果的分析,测量系统的测量误差小于 3.71%。本文完成的测量系统能方便准确地测量电磁选针器在选针过程中各位置的驱动力矩。经过实际测量,电磁选针器选针刀头在初始位置的驱动力矩比摆动到位的驱动力矩大,且在摆动过程中,驱动力矩有着先上升后下降的变化。另外,选针刀头的驱动力矩在始末位置与所加载的电压值成线性关系。这些测量结果,既可作为选针器仿真模型和仿真参数正确性的一个验证,又为优化电磁选针器的结构和驱动方式指明方向。

## 参考文献:

- [1] 张智明,梅顺齐,张建钢,等.基于压电陶瓷的电脑提花圆纬机选针器的研制[J].针织工业,2007(11):6-7.
- [2] 龙海如.针织圆纬机技术与产品发展动态[J].针织工业,2016(2):1-4.
- [3] 马磊.国内外纬编装备技术的最新发展:2014 中国国际纺织机械展览会暨 ITMA 亚洲展览会纬编机械评述[J].纺织导报,2014(12):51-56.
- [4] 李军,朱方明,周炯,等.应用频闪原理的选针器频率检测系统设计[J].纺织学报,2017,38(3):138-142.
- [5] 廖伟,钟瑞麟,曾建平.一种基于高斯计的新型砝码磁参数测量系统[J].厦门大学学报(自然科学版),2012,51(6):969-973.
- [6] 卢怡,徐刚,居伟骏,等.电脑提花圆机用电磁式选针电磁铁的研究[J].针织工业,2017(3):15-19.

- [7] 吴晓光, 张建钢, 张成俊, 等. 压电陶瓷片受力分析及选针器设计[J]. 针织工业, 2008(2): 19-21.
- [8] 李红, 袁嫣红, 项宏年. 基于 AnsoftMaxwell 的电磁选针器瞬态特性分析[J]. 浙江理工大学学报, 2017, 37(1): 92-98.
- [9] 居伟骏, 徐刚, 卢怡, 等. 基于有限元分析的圆纬机选针电磁阀参数设计[J]. 磁性材料及器件, 2016, 47(2): 37-41.
- [10] 陈春松. 多路数圆型纬编针织机控制系统设计[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2013: 14-18.

## Measurement of the swing driving torque of the electro-magnetic selector

XIANG Hongnian, YUAN Yanhong, XIANG Zhong

(Zhejiang Provincial Key Laboratory of Modern Textile Machinery,  
Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** The swing driving torque of the electro-magnetic selector is an essential factor for the frequency and the stability of needle selection. In order to meet the requirement of the high-frequency needle selection of the high-speed knitting equipment, it is necessary to carry out optimal design of high-performance needle selector by measuring and analyzing the driving torque. The paper designs a measurement system of the driving torque of the electro-magnetic selector, which is based on the STM32 embedded microprocessor. For 1~30 g tiny force measurement, the paper designs a high-precision signal processing circuit and numerical method to accurately measure the driving torque of the head of needle selector in each position of swing. By means of human-computer interaction, the driving torque can be conveniently measured, and the measured data can be saved to the SD card in the form of text for researching the relation between the driving torque and the position of the needle selection.

**Key words:** electro-magnetic selector; driving torque; STM32 embedded microprocessor; measurement system

(责任编辑: 康 锋)