

光电式断纱检测系统的研制

秦浩杰,张昊,周文聪,刘小龙,米心馨
(南京航空航天大学 机电学院,江苏 南京 210016)

摘要:针对断纱检测装置存在纱线与装置摩擦造成纱线质量下降、增加飞羽、信号不稳定等问题,基于光电检测原理,结合机械和电路设计等方法,设计一种准确度高、反应迅速的非接触式断纱检测系统。试验验证系统的断纱检测性能并且通过试验数据研究日光等环境光和红外发射管发射功率对断纱检测准确率的影响。实验证明:该系统实现了稳定准确识别纱线断纱的功能,解决了接触式检测法带来的问题,可满足大部分纺织工艺对纱线断纱检测的性能要求。

关键词:断纱检测;光电式检测;红外对管;光电传感器

中图分类号:TS103.7 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2023)04-0209-05

Development of Photoelectric Broken Yarn Detection System

QIN Haojie, ZHANG Hao, ZHOU Wencong, LIU Xiaolong, MI Xinxin

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: To overcome the shortcomings of the current yarn breaking detection device, such as the decline of yarn quality caused by the friction between yarn and device, and to reduce the flying feather and the instability of signal, a non-contact yarn breaking detection system with high accuracy and rapid response is designed based on the photoelectric detection principle and combined with the mechanical and circuit design method. The yarn breakage detection test is carried out, verifying the yarn breakage detection performance of the system, and the influence of ambient light such as sunlight and the emission power of infrared transmitting tube on the accuracy of yarn breakage detection is studied with the test data. The system realizes the function of stable and accurate identification of yarn breakage, solves the problems caused by contact detection method, and can meet the performance requirements of yarn breakage detection in most textile processes.

Keywords: broken yarn detection; photoelectric detection; infrared pair tube; photoelectric sensor

0 引言

纱线因张力或摩擦力过大而发生断纱是纺织过程中最常见的问题之一^[1]。在发生断纱后如果不能及时有效地处理,会造成整条生产线的停滞,对纺纱设备造成严重损坏,且需要人工找到断头并停止生产进行修复。这个过程严重降低了生产效率和纱线的成纱质量,所以在纺纱过程中,纺织器械实现断纱检测和自动夹纱的功能可极大地提高企业生产效率^[2]。

随着生活水平的提高,高支棉纱因为其柔软、不易变形和棉结少的优点被越来越多的消费者青睐^[3],如何实现高支纱线断纱信号的捕获和处理是当下热门研究方向。现有的断纱检测分为非接触式检测和接触式检测。接触式断纱检测因为检测装置一般与被测纱线有直接接触,不可避免地会产生摩擦等磨损从而对纱线质量产生影响,所以在整个行业尤其在高支纱断纱检测上这种方式应用逐渐减少^[3]。非接触式断纱检测装置不与纱线有任何直接接触,可以保证纱线不被装置磨损,且非接触式检测应用的传感器装置可以十分方便地将纱线状态转换为电信号,易于进行纱线生产的信息化管理和功能升级扩展^[4]。本

文基于光电式检测原理,运用新型传感器、信号采集和电路,开发出一套准确度高、反应迅速的非接触式断纱检测系统。

1 系统检测原理和方案

光电式检测系统由三部分组成:发光源、光学系统、光接受体^[5-7]。发光源选择红外发射管,光学系统分为两部分,靠近发光源的为准直透镜,靠近受光体的为滤光片(图1)。准直透镜将红外发射管发出的不规则光转换为平行光,滤光片主要作用为滤除携带纱线信息红外信号以外的任何光信号。受光体选用光敏三极管。

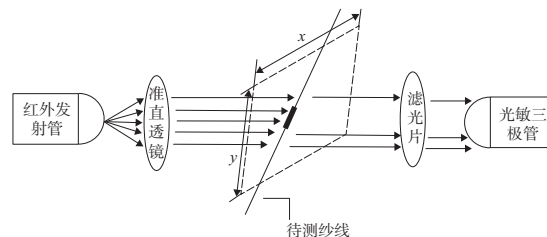


图1 光电式检测模型

第一作者简介:秦浩杰(1997—),男,河南焦作人,硕士研究生,研究方向为机电系统智能检测与控制,qhj7825259@163.com。

图1中,设纱线的直径为 d ,整个系统中光源被检测的面积为 S_0 , x 为被检测面长度, y 为被检测面宽度,那么易得 $S_0 = x \times y$ 。当检测系统中无纱线通过即断纱发生时,红外发射管发射的红外光源没有经过任何遮挡与干扰,全部被光敏三极管接收,设此时光敏三极管接收的总光强量为 E_0 。当正常走纱时,检测系统中有纱线通过,设待测纱线遮挡的面积为 S_1 ,易得 $S_1 = x \times d$ 。设待测纱线实际遮挡红外光源信号光强度占遮挡面积内总光强度的比例系数为 a 。当纱线正常走纱时,将光敏三极管接收到的光强度记为 E ,其表达式为

$$E = E_0 - aE_0 \frac{S_1}{S_0} = E_0 - aE_0 \frac{d}{y} \quad (1)$$

光敏三极管接收的光强度 E 与其输出转换电压 U 存在线性比例为 m 的线性关系,则有

$$U = mE = mE_0 - maE_0 \frac{d}{y} \quad (2)$$

式中 a 为遮挡比例系数,其值与纱线的材料和光源的穿透能力有关。当纱线材料较为透明或者光源穿透能力较强时,遮挡比例系数会变小,会降低断纱检测的灵敏度和准确性。光强电压转换系数 m 与光敏三极管的受体材质有关。光敏三极管接收总光强度 E_0 和被检测面宽度 y 均为常数,在实验中不会发生变化,那么令

$$k = \frac{amE_0}{y} \quad (3)$$

化简上式得

$$U = mE_0 - kd \quad (4)$$

光强电压转换系数在不考虑光敏三极管长期使用磨损的理想情况下也为一定值,那么光敏三极管输出电压与纱线直径存在反比例关系,即

$$\Delta U = -k\Delta d \quad (5)$$

综上所述,当检测区域中的纱线直径变大时,纱线遮挡光信号增加,光敏三极管接收的光量变少,其输出电压降低;当检测纱线直径变小时,纱线遮挡光信号减小,光敏三极管接收光量变多,其输出电压升高。

基于上述光电式断纱检测的原理及可移植性强和方便功能扩展升级的设计理念,设计如图2所示的光电式断纱检测系统。光电传感器采集纱线走纱状态并将其转换为电信号传入信号处理模块,经过滤波放大处理的信号传输至微控制器,微控制器根据断纱检测算法判断纱线状态,如发生断纱则控制夹纱装置实现自动夹纱并发出警报。

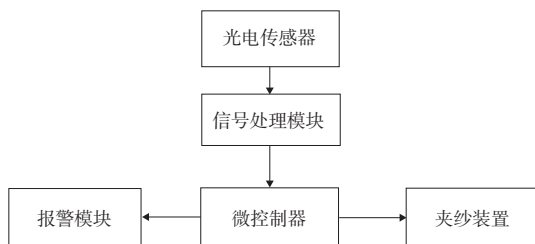


图2 系统组成框图

2 非接触式张力监测系统设计

2.1 机械结构设计

夹纱装置可实现夹住纱线断头和固定传感器的功能。

实现夹纱的原理为:传感器模块安装在走纱槽两侧(图3、图4),纱线从走纱槽进行走纱。当纱线正常走纱时,红外发射管发出的红外线被纱线部分遮挡后被光敏三极管接收;当纱线断纱时,红外发射管发出的红外线被光敏三极管全部接收。在这两种状态下光敏三极管接收的光量存在差异,故输出的电流信号也有较大不同,信号采集试验见3.1节,系统通过电信号的差异判断纱线状态,如发生断纱则控制夹纱装置夹住纱线断头。

图3中夹纱片为磁性材料,夹纱装置底座为非磁性材料,两者表面粗糙度均为 $Ra1.6$ 。

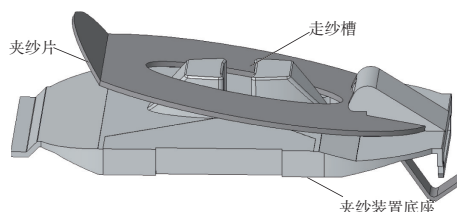


图3 夹纱装置示意图

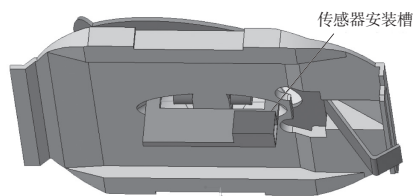


图4 传感器模块安装位置示意图

本系统实现夹纱的操作流程为:如图5所示,在正常走纱时,系统未检测到断纱信号,此时电磁铁不通电没有磁性,弹簧被拉伸4mm,产生4N拉力拉起夹纱片,纱线可正常走纱;如图6所示,当发生断纱时,单片机控制电磁铁通电,夹纱片为磁性材料,电磁铁对夹纱片吸力为14N,此时弹簧被拉伸10mm,产生8N拉力,电磁铁吸力大于弹簧拉力,可紧紧吸住夹纱片夹住纱线断头。本系统整体结构如图7所示,所有装置均安装在装置外壳内,可有效保护传感器等部件,提高系统稳定性。

2.2 电路设计

本系统在信号检测电路设计处采用二线制信号传输及供电方案。二线制信号传输方案采用电流传输来传输模拟量电信号。相比于电压传输,电流传输模拟量电信号在长距离传输时可以极大地降低损耗,提高传输精度。基于二线制信号传输方案围绕红外发射管和光敏三极管搭建信号检测电路如图8所示。

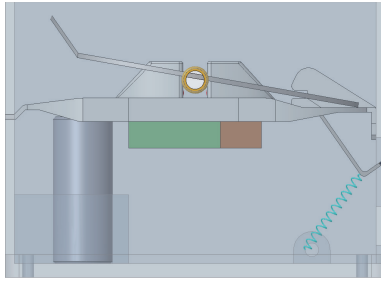


图5 装置走纱状态示意图

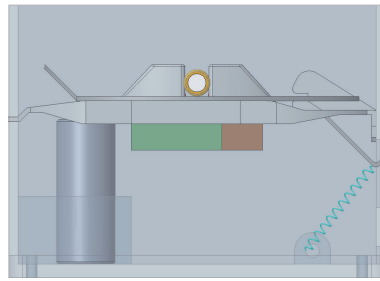


图6 装置夹纱状态示意图

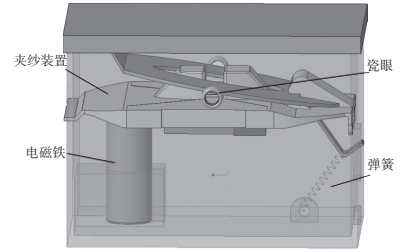


图7 系统总体结构设计图

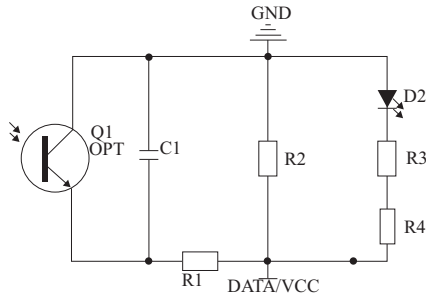


图8 信号采集电路

上级二线制信号采集电路获得的电流信号,经过电阻升压转换后变为电压信号。电压信号后续需要进行运算放大等处理,此处需要滤除整流输出电压中的低频波纹噪声,有效地阻止了低频信号被放大。设计如图9所示滤波器。其中R5、R6为分压电阻,为断纱检测模块提高合适的工作电压;运算放大器U2B与反馈电阻R11、电阻R9、电阻R10和电容C10组成高通滤波器。

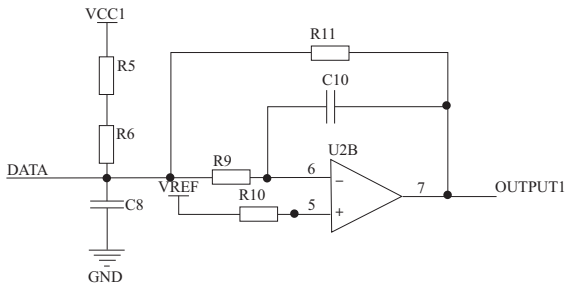


图9 滤波电路原理图

经过上级滤波电路,接下来对信号进行放大处理。如图10所示,C13为电容,目的是去除上级耦合来自VREF参考电压的直流信号;C10电容主要作用为防止振荡和抑制高频噪声;电阻R15、电阻R13和运算放大器U2A组成反相放大电路。

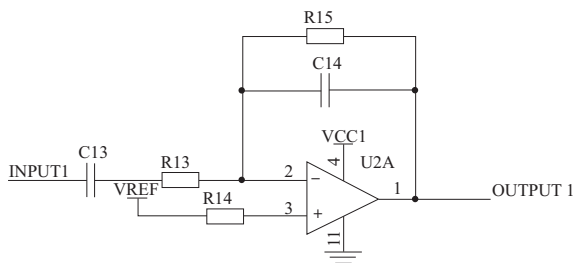


图10 信号放大电路原理图

3 试验

3.1 信号采集试验

用示波器提取红外光电检测电路在红外对管与光敏三极管之间无任何物体遮挡和红外发射管发射的红外线被完全遮挡两种情况下的信号波形。当完全断纱时,检测模块输出电压较为稳定,输出为较高电平信号;当红外发射管被黑色纸板完全遮挡时,输出为较低电平信号,上述两种情况具体电平信号如图11所示。

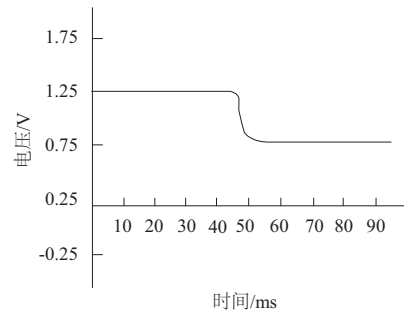


图11 电平信号对比图

3.2 断纱检测试验

在整机样机上搭建断纱检测系统,整机样机可以设置纱线张力与轴向行进速度,本文试验均设置纱线张力为15cN,纱线轴向行进速度为110m/min。

1) 不同直径纱线信号检测试验

本次试验分为两大组,一组试验在不可见光环境中进行,一组试验在40W日光灯照射下进行,试验对象为8种不同支数的白色棉纱,分别为320英支、200英支、120英支、80英支、55英支、25英支、16英支、8英支。英支是表示纱线粗细的常用单位,纱线支数越大其直径越小,其与直径的换算关系如表1所示。

表1 棉纱支数与直径换算表

支数/英支	320	200	120	80	55	25	16	8
直径/mm	0.040	0.060	0.080	0.100	0.123	0.171	0.223	0.316

红外发射管功率为5mW/sr,试验温湿度17℃、30%RH,每种纱线记录10组信号并取平均值,试验数据见表2和表3。

表2 无可见光环境下各英支纱线信号值

纱线支数/英支	走纱信号/V	断纱信号/V
320	1.262	1.263
200	1.251	1.263
120	1.231	1.263
80	1.183	1.263
55	1.158	1.263
25	1.108	1.263
16	0.952	1.263
8	0.856	1.263

表3 40 W 日光灯照射下各英支纱线信号值

纱线支数/英支	走纱信号/V	断纱信号/V
320	1.263	1.263
200	1.252	1.263
120	1.232	1.263
80	1.182	1.263
55	1.158	1.263
25	1.108	1.263
16	0.953	1.263
8	0.857	1.263

由表2、表3可知,两组环境下断纱电压平均值均为1.263 V,因传感器输出信号与纱线的遮挡面积即纱线直径相关,故本文后续绘图均将英支换算为直径进行。绘制无可见光和40 W 日光灯照射两组环境各直径纱线走纱信号平均值及误差线如图12所示。

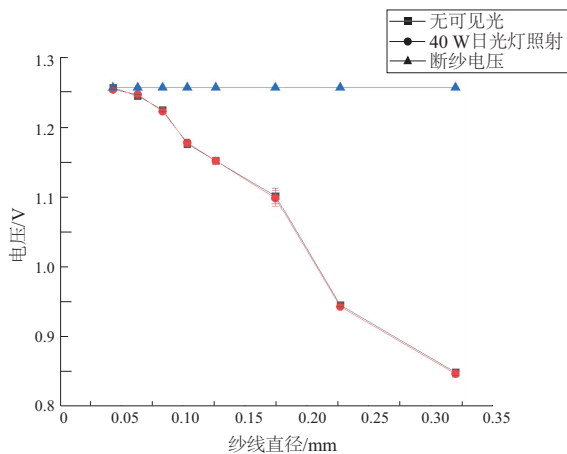


图12 两种环境下各直径纱线走纱信号平均值及误差线

由图12可以看出纱线信号在无可见光环境与40 W 日光灯照射下信号走势图几乎重合,差异较小。推测出现这种情况的原因在于日光灯以及日常可见光波长范围为400~750 nm,而本系统光敏三极管对光线感应波长范围为800~1200 nm,故光敏三极管不会对环境光产生反应,本文后续试验均在日常可见光环境下进行。另外由图12可以看出系统可以准确地检测200英支、120英支、

80英支、55英支、25英支、16英支、8英支纱线的走纱电压,且检测信号电压值随着直径增大而降低,与前文探究光电检测原理中光敏三极管输出电压与光路遮挡面积成反比例的结论相吻合。除了直径为0.04 mm(320英支)纱线,其余7种纱线走纱电压与断纱电压有较为明显的差值,系统可以较为快速、准确地通过信号判断断纱是否发生断纱。而当纱线直径为0.04 mm时,检测模块的输出信号与断纱信号过于相近,较难准确地判断此规格纱线的断纱。

2) 发射功率对纱线检测信号影响试验

红外发射管发射功率与发射距离和穿透能力成正比,发射功率越大的红外发射管其发射距离和穿透能力也越强。在之前实验中发现发射功率5 mW/sr的发射管无法准确地检测0.04 mm(320英支)白色棉纱的断纱情况,这可能与部分红外线穿透细纱被光敏三极管接收有关,故设计试验不同发射功率发射管检测模块对320英支棉纱的走纱信号检测情况。接下来试验3种发射功率不同的二极管,发射功率依次减小分别为5.0 mW/sr、3.5 mW/sr、2.5 mW/sr,这3种发射管除发射功率外其他参数均相同,试验条件与上小节相同,每组试验取10次测量值。发射功率5.0 mW/sr的试验数据与表3相同,发射功率3.5 mW/sr试验数据见表4,发射功率2.5 mW/sr见表5。

表4 发射功率3.5 mW/sr时320英支纱线信号值

序号	走纱信号/V	断纱信号/V
1	1.192	1.222
2	1.205	1.223
3	1.205	1.222
4	1.204	1.224
5	1.209	1.223
6	1.198	1.223
7	1.209	1.223
8	1.210	1.223
9	1.211	1.221
10	1.192	1.223

表5 发射功率2.5 mW/sr时320英支纱线信号值

序号	走纱信号/V	断纱信号/V
1	1.197	1.219
2	1.199	1.22
3	1.205	1.219
4	1.193	1.217
5	1.197	1.219
6	1.203	1.218
7	1.196	1.220
8	1.197	1.218
9	1.194	1.220
10	1.202	1.219

由图12可知当发射管发射功率为5.0 mW/sr时,系统无法检测320英支纱线的断纱信号,为了探究系统发射

功率为 3.5 mW/sr 和 2.5 mW/sr 时对 320 英支纱线的断纱信号检测情况,绘制 320 s 纱线在不同发射功率下走纱信号与断纱信号的平均值及误差线,如图 13 所示。

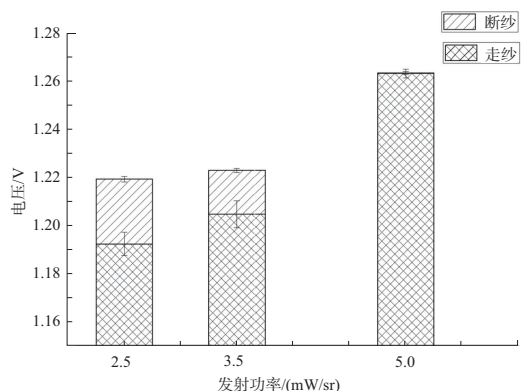


图 13 不同发射功率纱线走纱与断纱信号平均值及误差线

由图 13 直观可知,纱线的断纱信号电压随着发射功率的增大而增大,断纱信号与走纱信号的差值随着发射功率增大而降低。发射功率为 2.5 mW/sr 时,系统可以准确检测 320 英支 (0.04 mm) 纱线断纱。

4 结语

基于光电式检测原理,通过机械、电路、软件设计,完

成了一种光电式断纱检测系统。系统可以精准识别支数小于 320 英支纱线断纱情况,并通过试验验证日光等环境光不会对检测信号产生影响。对于 320 英支纱线,可以通过降低发射管发射功率来提高检测准确率。

后期将试验纱线颜色、对管安装距离等因素对检测信号的影响,完善针对不同纱线断纱检测的红外对管选型建议。

参考文献:

- [1] 王庆东,夏港东,秦浩杰,等. 基于 Ansys Maxwell 的电磁式磁滞张力器仿真分析[J]. 机械制造与自动化,2022,51(1): 124-127.
- [2] 熊秋元,高晓平. 纱线张力检测与控制技术的研究现状与展望[J]. 棉纺织技术,2011,39(6):65-68.
- [3] 何奕中,聂建斌. 精纺高支轻薄面料综合性能分析[J]. 毛纺科技,2006,34(5):52-55.
- [4] 吴震宇,陈琳荣,李子军,等. 接触式纱线张力传感器动态测量模型[J]. 纺织学报,2013,34(8):138-142.
- [5] 任尧,袁嫣红,向忠. 非接触式断纱检测系统设计[J]. 浙江理工大学学报(自然科学版),2018,39(2):200-205.
- [6] CARVALHO V, BELSLEY M, VASCONCELOS R M, et al. Yarn hairiness and diameter characterization using a CMOS line array[J]. Measurement,2008,41(10):1077-1092.
- [7] 赵晓东,贾孔昊,邹洪波,等. 一种自适应光电式电子清纱器:中国,CN102677237A[P].2012-09-19.

收稿日期:2022-02-22

(上接第 180 页)

为 24 μm , 电流信号峰峰值为 0.7 V, 换算后得到的电流实际波动为 1.05 A。

利用本实验室的数据采集系统,可以采集转子从 0~12 000 r/min 整个升速过程中的振动量。图 18 为两种控制算法下的转子同频振动曲线,当转子转速达到约 4 000 r/min 时,两种控制算法下的转子振动幅值均达到最大。其中采用普通 PID 控制转子最大振动峰峰值为 43 μm , 采用 BP 神经网络 PID 控制转子振动峰峰值为 34 μm 。

试验结果表明,BP 神经网络 PID 控制明显改善转子的振动情况,使磁悬浮系统具有更好的动态性能。

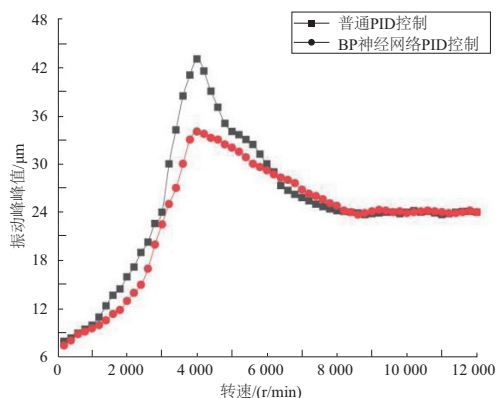


图 18 两种控制算法下的转子同频振动曲线

6 结语

针对普通 PID 控制算法难以解决磁悬浮系统非线性问题,设计了 BP 神经网络 PID 控制算法。仿真与试验结果表明,BP 神经网络 PID 控制算法能够显著改善磁悬浮系统的静态性能,其超调量更小、调节时间更短、转子振动量更小,而且能够自适应地调整 PID 控制参数,从而使系统具有自学习能力。

参考文献:

- [1] 胡业发,周祖德,江征风. 磁力轴承的基础理论与应用[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [2] SCHWEITER G, BLEULER H. Active magnetic bearing—basics, properties and application of active magnetic bearings[M]. Switzerland: ETH, 1994.
- [3] 郭凯旋,徐龙祥. 基于 TMS320F28335DSP 的磁悬浮轴承数字控制器的研究与设计[J]. 机械制造与自动化,2018,47(4): 179-182.
- [4] 杨静,李旗,张华容. 单自由度主控式磁悬浮系统分析[J]. 西安理工大学学报,1999,15(3):82-85.
- [5] LI Q M, YIN S D, WAN L, et al. Stability analysis and controller design for a magnetic bearing with 5 degree of freedoms[C]// 2006 6th World Congress on Intelligent Control and Automation. Dalian:IEEE,2006:8015-8019.
- [6] 曹广忠. 磁悬浮系统控制算法及实现[M]. 北京:清华大学出版社,2013.
- [7] 聂文都,蔡锦凡. 基于人工神经网络的二分类方法[J]. 现代计算机,2019(28):15-19,56.

收稿日期:2022-01-11