

基于能耗最低的挤出机温度控制

张乐莹, 刘艳

(南京理工大学泰州科技学院, 泰州 225300)

摘要: **目的** 研究挤出机的温度对流涎薄膜生产质量的影响。**方法** 针对流涎机组挤出机料筒温度控制具有时变、非线性及大时滞等特性,以单螺杆挤出机为对象,利用PID神经网络较强的解耦能力,并根据料筒内物料温度变化特点,提出一种分区比例控制方法,设计分区比例式PID神经网络控制器,最后通过仿真和实验方法对其进行验证。**结果** 分区比例式PID神经网络控制器的阶跃信号超调量为5.9%,脉冲干扰稳定时间为162.8 s,正常生产时电耗为12.04 kWh。传统PID控制器的阶跃信号超调量为16.4%,脉冲干扰稳定时间为192.4 s,正常生产时的电耗为13.42 kWh。**结论** 分区比例式PID神经网络温度控制系统控制精度高,且优化了料桶内物料温度上升曲线,使系统单位产量的能耗得到了有效降低。

关键词: 温度控制; PID神经网络; 比例控制

中图分类号: TB486+.03 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)19-0068-05

Extruder Temperature Control Based on Minimum Energy Consumption

ZHANG Le-ying, LIU Yan

(Taizhou Institute of Sci & Tech, NUST, Taizhou 225300, China)

ABSTRACT: The aim of this work was to study the influence of extruder temperature on the quality of the cast film produced. According to the properties of the extruder temperature control system such as the time-varying, nonlinear, and the large delay characteristics, taking the single screw extruder as the object, we put forward a kind of partition ratio control method and designed the partition ratio type PID neuron network controller based on the strong decoupling ability of PID neural network and the characteristics of the temperature distribution of the material inside the extruder cylinder. Finally, the simulation and experiment were carried out to verify the method. The step signal overshoot of partition ratio type PID neural network controller was 5.9%, the pulse interference stability time was 162.8 s, and the power consumption during normal production was 12.04 kWh. In comparison, the step signal overshoot of traditional PID controller was 16.4%, the pulse interference stability time was 192.4 s, and the power consumption during normal production was 13.42 kWh. In conclusion, the robustness and overshoot of the partition ratio type PID neural network controller are well controlled, the control precision of the system has been greatly improved, and the energy consumption of per unit output has been effectively reduced.

KEY WORDS: temperature control; PID neural network; proportional control

在流涎薄膜生产过程中,挤出机将树脂材料加热至熔融塑化状态并经挤出模头挤出,为后续生产提供源源不断的物料^[1-2],其挤出物料温度控制的好坏直接影响着薄膜产品的质量^[3]。故挤出机内被加工物料的

温度应沿料筒具有一定的温度分布和温控精度,同时温控系统应具有足够快的升温速度,以满足注塑加工工艺、保证制品质量和提高生产率的要求^[4]。

实际生产过程中,挤出机料筒的热惯量比较大,

收稿日期: 2015-03-11

作者简介: 张乐莹(1983—),女,江西萍乡人,硕士,南京理工大学泰州科技学院讲师,主要研究方向为机械设计制造及其自动化。

很难建立精确数学模型^[5-6],传统的控制方案难以满足控制要求。由此,专家和学者在传统PID控制的基础上,融入智能控制算法对挤出机的温度进行控制^[7-8]。A.G.Gerber 等人^[9]设计了基于流体动力学耦合计算的注塑成形熔体温度预测控制器;Jeen Lin 等人^[10]将自适应模糊控制器应用于注塑机的料筒温度控制中。然而上述方案仅是根据物料的最终挤出温度来设置各加热区的目标温度,忽略了料桶内物料温度变化的特点。此外,靠近进料口的加热区温度不可能达到最终挤出温度,如果简单地按最终挤出温度设置各加热区的目标温度,这将导致智能控制器会不断加大该区的平均加热功率,造成能源浪费,甚至损坏设备。

针对这些问题,文中结合前人研究成果及挤出机料桶内物料温度变化特点,提出一种分区比例控制方法,并通过PID神经网络的在线监控,实现挤出温度的精确、高效控制。首先,通过实验获取挤出机内物料的温度曲线,并依此将料筒分为3个控制区:温度快速上升区、温度缓慢上升区和挤出模头区。然后采用变频技术对各区进行加热,并通过PID神经网络对其进行在线监控。

1 料筒温度特点

挤出机料筒的温度测试系统原理见图1。主要设备:pt100-02D512-L1000管道用熔体温度传感器一套(29个),测温范围为0~300℃,精度A级±0.15℃;SDLZ系列流涎薄膜生产机组挤出机,该型号挤出机为单螺杆挤出机,主机部分有6个加热区;惠普ProBook 4416计算机;西门子S7-200PLC,带模拟信号输入输出模块。

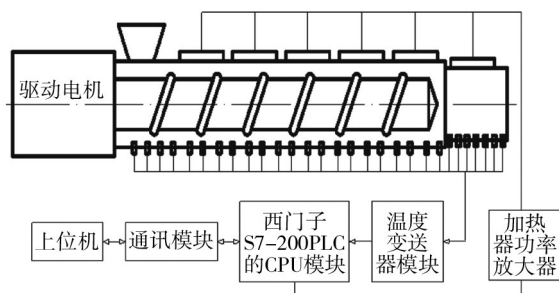


图1 挤出机温度测试系统原理

Fig.1 The principle diagram of the extruder temperature testing system

现将29个温度传感器均布在料筒上,并以聚丙烯(PP H-XD-140,熔点为164~170℃)为实验物料,喂料量150 kg/h,进料口到出料口的各加热区温度按实

际生产要求,分别设置为180,220,240,240,235,235℃。挤出机正常工作后,采集5组温度数据,并以5组数据平均值作为最终数据,得到温度响应曲线见图2。

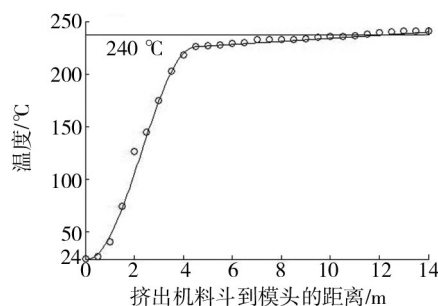


图2 挤出机料筒内物料的温度分布

Fig.2 The temperature distribution of the material inside the extruder cylinder

图2中前10个数据点采用傅里叶曲线对其进行拟合,得到曲线方程式(1),后20个数据点采用直线拟合方式。

$$T = a_0 + a_1 \cos(wx) + b_1 \sin(wx) \quad (1)$$

其中 x 为物料在料筒中的位置,取料斗处(即第1个测试点处), x 为0,第10个测试点处 x 为4.5,则有 $a_0=124.7, a_1=-101.1, b_1=-3.561, w=0.7054$ 。

快速升温区的温控精度要求不高,允许波动5℃,而式(1)中正弦函数的最大值仅为3.561。为方便系统分析,现将快速升温区的温度曲线简化为式(2)。

$$T = a_0 + a_1 \cos(wx) \quad (2)$$

从图2可以发现,挤出机料筒的前10个温度测试点处于挤出机的前2个加热区,是快速升温区,且上升曲线基本吻合余弦函数曲线。之后,温度缓慢上升并趋于稳定。

2 料筒温度分区变频控制

2.1 分区比例控制

随着物料在料筒中前进,物料的温度逐渐上升最后趋于稳定^[11]。基于此,提出一种分区比例控制方法,依据前文的拟合曲线设置各加热区目标温度,从而使各加热区的目标温度不需全按最终挤出温度来设置,达到节约能源、提高产品质量的目的。

设挤出机的快速升温区分为 c 个加热区,每个加热区长度为 l ,料筒的总长度为 L ,挤出物料的目标温

度为 T ,室温为 R 。根据式(2)可得该 c 个加热区中第 i 个加热区的目标温度近似为 T_i 。

$$T_i = \frac{T+R}{2} + \frac{R-T}{2} \cos\left(\frac{i\pi}{c}\right) \quad (3)$$

故,快速升温区的第 i 个加热区的比例系数 u 可由式(4)得到,其余加热区的比例系数为1。

$$u_i = \frac{T+R}{2T} + \frac{R-T}{2T} \cos\left(\frac{i\pi}{c}\right) \quad (4)$$

2.2 基于脉宽调制的变频加热技术

挤出机采用的是电加热,加热温度是通过改变平均加热功率实现的。改变平均加热功率的途径主要有3种^[12-13]:通过变压器改变加热器的电源电压来调节功率,此方法控制简单,但增加了硬件成本;通过改变加热器的加热电阻,此方法在实际生产中很难实现;通过调节加热器的通断时间来改变平均功率,其控制方式采用温控表加继电器的形式,该控制方法具有硬件成本低的优势,但其只能对各个加热区单独进行控制,系统难以实现综合控制,同时,多只温控表的使用不仅增加了故障率,而且造成各加热区温度较大的波动,影响挤出物料温度的稳定性。

挤出机加热用电为工频50 Hz的正弦交流电,其 $u-t$ 曲线见图1a。从图3a可以发现,加热器两端电压是周期为0.01 s的连续正弦波。由于加热时不需考虑电压的正负,故 $u-t$ 曲线可以看成图1b所示形式。根据这个特点,可以通过控制1 s内加热器通断时间的占空比,即对加热器供电进行脉宽调制(PWM),来调节各加热区的功率,实现加热温度的有效控制。假设某一加热区所需功率为总功率的 $a\%$,则在1 s内加热器通断时间的占空比为 $a\%$ 。

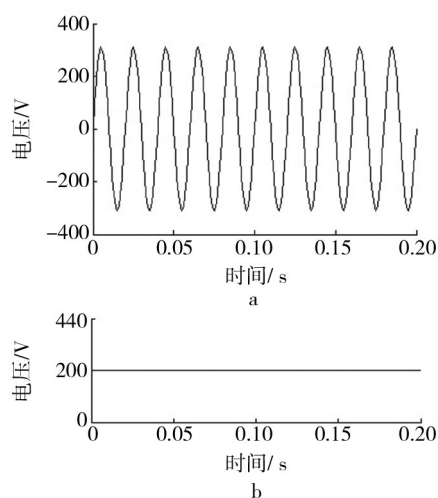


图3 $u-t$ 波形图

Fig.3 $u-t$ waveform figure

3 分区比例式PID神经网络控制器

如图4所示,该控制系统由比例部分、PID神经网络和底层执行器组成。挤出机正常工作前必须对料筒进行预加热,使料筒中的物料达到熔融状态,所以在正常工作前,通过程序使料筒各加热区满功率运行,一定时间后系统进入正常工作状态,由分区比例式PID神经元控制器对其进行控制。

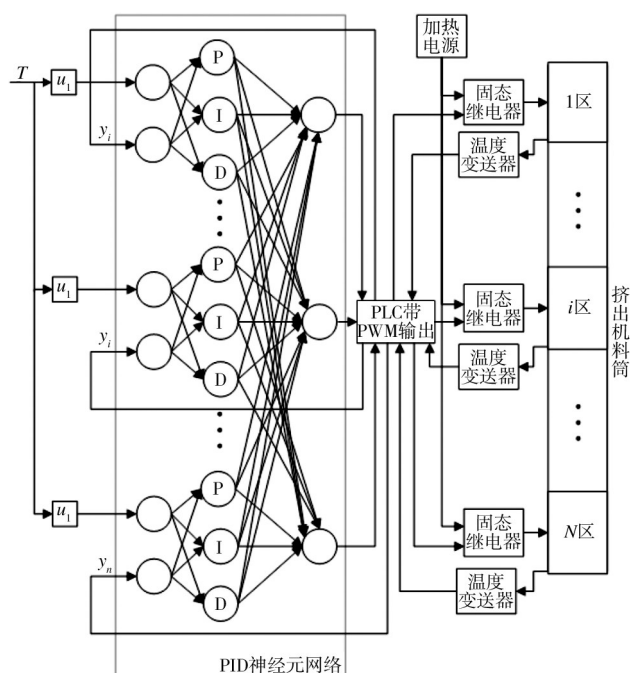


图4 分区比例式PID神经元控制系统结构

Fig.4 The structure diagram of the partition ratio type PID neural network controller

图4中 $u_1 \cdots u_i \cdots u_n$ 为各区的比例系数,针对不同的挤出机料筒,设置相应数量的加热区,并根据温度上升曲线设置合理的比例系数,从而实现各加热区的比例控制; T 为挤出物料目标温度; y_i 为系统第 i 个加热区的实际温度值。PID神经网络以目标温度值和温度变送器反馈回的实际温度值作为输入,输出加热器通断时间的占空比到PLC的CPU,通过PLC的PWM输出控制固态继电器的通断实现变频加热,精确控制料筒加热温度。

单控制量PID神经网络由输入层、隐含层和输出层以 $2 \times 3 \times 1$ 的结构组成,其隐含层由比例元(P)、积分元(I)和微分元(D)构成^[14]。图4所示的神经网络为多控制量PID神经网络,其由 n 个单控制量子网并列构成,各子网络间既相互独立,又通过网络连接权值相互联系,从而使网络具有较强的解耦能力^[15]。

设系统含有 n 个控制量,输入、输出矩阵分别为 $\mathbf{X}$ 和 $\mathbf{Y}$,则在任意时刻 k ,各层输入输出计算公式如下所述。

1) 输入层,其包含 $2n$ 个神经元,输出 x_{mi} 等于输入 X_{mi} ,计算式为:

$$x_{mi}(k)=X_{mi}(k) \quad i=1,2 \tag{5}$$

2) 隐含层,其含有 $3n$ 个神经元,且各神经元的输入值均为 $N_{mj}(k)$ 。

$$N_{mj}(k) = \sum_{i=1}^2 w_{ij}x_{mi}(k) \quad j = 1,2,3 \tag{6}$$

隐含层比例元、积分元、微分元的输出为:

$$\begin{aligned} u_{m1}(k)&=N_{m1}(k) \\ u_{m2}(k)&=N_{m2}(k)+u_{m2}(k-1) \\ u_{m3}(k)&=N_{m3}(k)-N_{m3}(k-1) \end{aligned} \tag{7}$$

式中: m 为并行子网络的序号; i 为输入层神经元序号; j 为子网络中隐含层神经元序号; $x_{mi}(k)$ 为各子网络输入层神经元输出值; w_{ij} 为各子网络输入层至隐含层的连接权值。

3) 输出层,其含有 n 个神经元,构成 n 维输出量,输出层的输出为隐含层全部神经元的输出值加权,见式(8)。

$$y_h(k) = \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^3 w_{jk}u_{mj}(k) \tag{8}$$

式中: h 为输出层神经元序号; $u_{mj}(k)$ 为隐含层各神经元输出值; w_{jk} 为隐含层至输出层的连接权值。

PID神经网络在控制过程中根据控制量误差按照梯度修正法修正权值,使控制不断接近控制目标值,权值修正过程见式(9)。

$$\begin{aligned} J &= \sum E = \sum_{k=1}^n [y_h(k) - r(k)]^2 \\ w_{jk}(k+1) &= w_{jk}(k) - \eta \frac{\partial J}{\partial w_{jk}} \\ w_{ij}(k+1) &= w_{ij}(k) - \eta \frac{\partial J}{\partial w_{ij}} \end{aligned} \tag{9}$$

式中: J 为控制误差; y_h 为预测输出; r 为控制目标。

4 仿真与实验

4.1 仿真及分析

为验证分区比例式PID神经网络的性能,文中对SDLZ3000CPE系列流涎薄膜生产机组的挤出机温度控制系统建模。根据文生平等^[16]的研究成果及图2所示温度上升曲线,确定挤出机温度加热过程的传

递函数为:

$$G(s) = \frac{1.8e^{-15s}}{(58.8s+1)^2} \tag{10}$$

为简化系统分析,设系统为两控制变量PID神经网络,其输入层至隐含层权值的初值取1,隐含层至输出层连接权值分别取 $w_{m1h}=1.1, w_{m2h}=0.01, w_{m3h}=0.1$ 的初值。

对仿真系统输入幅值为1的阶跃信号,并在700 s时加入一个幅值为10的脉冲干扰信号。仿真结果见图5和表1。

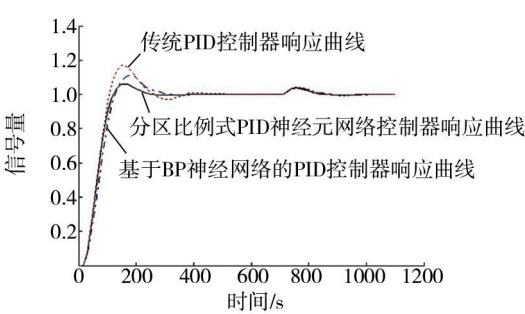


图5 控制器对阶跃信号的响应曲线
Fig.5 The response curve of the controller to the step signal

表 1 仿真对比结果
Tab.1 Simulation results

	阶跃信号 峰值	阶跃信号 超调量/%	阶跃信号 稳定时间/s	脉冲干 扰峰值	脉冲干 扰稳定时间/s
传统 PID	1.164	16.4	453.8	1.044	192.4
BP神经 网络PID	1.102	10.2	305.7	1.037	171.8
PID神经 元网络	1.059	5.9	247.4	1.036	162.8

由表1可知,在正常工作条件下,输入相同的信号,分区比例式PID神经网络控制器的超调量较小,稳定时间短而且响应速度快。在受到干扰时,能快速恢复稳态,且波动较小,表现出较好的鲁棒性。由此可见分区比例式PID神经网络控制器优于BP神经网络PID控制器和传统PID控制器。

4.2 结果及分析

将分区比例式PID神经网络控制器和传统PID控制器分别应用于SDLZ系列流涎薄膜生产机组的挤出机温度控制,并采用图1所示的数据采集方案,以聚丙烯(PP H-XD-140,熔点为164~170 ℃)为实验物

料,喂料量 150 kg/h。挤出机正常工作后,采集 5 组温度数据,并以 5 组数据的平均值作为最终数据。

采用传统 PID 控制器控制该挤出机温度时,根据工艺要求,从进料口到出料口的各加热区温度分别设置为 180,220,240,240,235,235 ℃。正常工作 1 h 后其加热系统的电耗为 13.42 kWh。

以分区比例式 PID 神经网络控制器控制该挤出机时,考虑到物料在初始时的温度逐渐上升,故将靠近进料口的 3 个加热区改为 5 个加热区,共计 8 个加热区,各区比例系数按式(1)可算得: $u_1=0.44$, $u_2=0.67$, $u_3=0.9$, $u_4=u_5=u_6=u_7=u_8=1$ 。正常工作 1 h 后其加热系统电耗为 12.04 kWh。

对实验数据进行分析总结得到:当采用传统 PID 控制器控制挤出机时,系统能较快达到目标温度,但温度曲线存在较大波动,波动范围达到 ± 0.19 ℃,且工作 1 h 的能耗达到 13.42 kWh;采用分区比例式 PID 神经网络的控制器控制该挤出机,并将加热区增加到 8 个后,系统在第 16 个温度测试点附近达到目标温度,传统控制方式在第 14 个温度测试点就能达到目标温度。然而改进后的控制方案的电耗为 12.04 kWh,较传统的控制方案减少了 1.38 kWh,且温度曲线波动较小,波动范围基本维持在 ± 0.16 ℃。

5 结语

针对流延机组挤出机料筒的温度实际变化特性,提出了一种比例控制方法,优化温度上升曲线,使其近似于正弦曲线,降低了生产过程能量的消耗,达到了节能的目的。同时基于温度控制系统具有大时滞、大惯性和非线性等特性,设计了分区比例式 PID 神经网络的控制器。仿真和实验结果表明,该控制策略具有较快的收敛速度和较高的控制精度,稳定性较好,相对传统的控制方案能更好地实现挤出机的温度控制,系统单位产量的能耗得到了有效降低,具有较高的实际应用价值。

参考文献:

- [1] JUANG C F, HUANG S T, HUANG, DUH F B. Mold Temperature Control of a Rubber Injection-molding Machine by TSK-type Recurrent Neural Fuzzy Network[J]. Neuro Computing, 2006, 70(1/3): 559—567.
- [2] HUANG S N, TAN K K, LEE T H. Adaptive GPC Control of Melt Temperature in Injection Moulding[J]. ISA Transactions, 1999, 38: 361—373.
- [3] 李村. 注塑机料筒温度控制设计与研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2011.
- LI Cun. Design and Research on the Barrel Temperature Control System of Injection Molding Machine[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2011.
- [4] 金波, 沈海阔, 汤进举, 等. 注塑机料筒温度模糊变系数 PID 控制研究[J]. 中国机械工程, 2005, 16(5): 395—398.
- JIN Bo, SHEN Hai-kuo, TANG Jin-ju, et al. Research on Fuzzy Variable-coefficient PID Control for Injection Material Canister Temperature[J]. China Mechanical Engineering, 2005, 16(5): 395—398.
- [5] MANUEL G, ETIENNE V. Temperature Regulation and Tracking in a MIMO System with a Mobile Heat Source by LQG Control With a Low Order Model[J]. Control Engineering Practice, 2013, 21: 333—349.
- [6] NIKOLAEV N Y, IBA H. Learning Polynomial Feed-forward Neural Networks by Genetic Programming and Back-propagation[J]. IEEE Trans Neural Network, 2003, 14(2): 337—402.
- [7] HAN Li, ZHANG Zhen-yu. The Application of Immune Genetic Algorithm in Main Steam Temperature of PID Control of BP Network[J]. Physics Procedia, 2012, 24: 80—86.
- [8] MENENDEZ de L R, BOSQUE J R. Study of Neural Net Training Methods in Parallel and Distributed Architectures[J]. Future Generation Computer Systems, 2010, 26(2): 267—275.
- [9] GERBER A G, DUBAY G, HEALY A. CDF-based Predictive Control of Melt Temperature in Plastic Injection Molding[J]. Applied Mathematical Modelling, 2006, 30: 884—903.
- [10] LIN J, LIAN R J. Self-organizing Fuzzy Controller for Injection Molding Machines[J]. Journal of Process Control, 2010, 20: 585—595.
- [11] DUBAY R. Self-optimizing MPC of Melt Temperature in Injection Moulding[J]. ISA Transactions, 2002, 41: 81—94.
- [12] 翟阳, 曹亦轩, 肖永松. 热封切制袋机中多通道温控系统的设计[J]. 包装工程, 2013, 34(17): 68—71.
- ZHAI Yang, CAO Yi-xuan, XIAO Yong-song. Design of Multi-channel Temperature Control System for Heat Sealing and Cutting Bag Machine[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(17): 68—71.
- [13] 方沛昱, 李兴根. 制袋机中的多路温度控制系统[J]. 包装工程, 2003, 24(4): 26—28.
- FANG Pei-yu, LI Xing-gen. A New Temperature Control Multiplexer in Package Machine[J]. Packaging Engineering, 2003, 24(4): 26—28.
- [14] 曾喆昭, 肖雅芬, 郝逸轩. 非线性类 PID 神经网络控制器[J]. 北京科技大学学报, 2012(1): 12—15.
- ZENG Zhe-zhao, XIAO Ya-fen, HAO Yi-xuan. Nonlinear PID-like Neuron Network Controller[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2012(1): 12—15.

(下转第 78 页)

任何缓冲空投时,空投物品很容易损坏;采用传统缓冲气囊进行类空投时,装满水的玻璃瓶和矿泉水瓶损坏概率分别为22%和11.1%;采用冲压式快速空投气囊进行类空投时,空投物品损坏概率均为0。因此,冲压式快速空投气囊的类空投效果远远好于传统缓冲气囊。

参考文献:

- [1] 唐晓慧,钱林方,石海军. 车载炮重装空投着陆缓冲底盘强度分析[J]. 火炮发射与控制学报,2014,35(1):35—39.
TANG Xiao-hui, QIAN Lin-fang, SHI Hai-jun. Classis Strength Analysis of Vehicle-mounted Gun for Heavy Cargo Airdrop during Soft Landing Buffer[J]. Journal of Gun Launch & Control,2014,35(1):35—39.
- [2] 常允刚,孙秀霞,李大东,等. 空投时运输机的实时仿真平台[J]. 电光与控制,2014,21(7):56—60.
CHANG Yun-gang, SUN Xiu-xia, LI Da-dong, et al. A Real-Time Simulation Platform for Airdrop of the Transport Aircrafts[J]. Electronics Optics & Control,2014,21(7):56—60.
- [3] 辛琪,史忠科. 运输机超低空重装空投抗侧风三维非线性控制律设计[J]. 航空学报,2014,35(7):1941—1955.
XIN Qi, SHI Zhong-ke. Design of three Dimensional Nonlinear Controller for Transport Aircraft Airdropping Heavy Car Gos at Extremely Low-altitude under Crosswind[J]. Aeronautica et Astronautica Sinica,2014,35(7):1941—1955.
- [4] 齐明思,于丽娜,殷强,等. 基于ANSYS的冲压式快速空投硬式气囊应力分析[J]. 包装工程,2010,31(15):69—72.
QI Ming-si, YU Li-na, YIN Qiang, et al. Stress Analysis on Ram Rigid Airbag for Quick Airdrop Based on ANSYS[J]. Packaging Engineering,2010,31(15):69—72.
- [5] 王新春,马大为,马合林,等. 某空投塔着陆冲击过程分析与改进[J]. 计算机仿真,2013,30(12):74—77.
WANG Xin-chun, MA Da-wei, MA He-Lin, et al. Landing Impact Analysis and Improvement of Airdropping Turret[J]. Computer Simulation,2013,30(12):74—77.
- [6] 刘彬,谷京朝,陈湘平,等. 重物空投着陆过程系统分析与仿真[J]. 空军雷达学院学报,2008,22(2):136—138.
LIU Bin, GU Jing-zhao, CHEN Xiang-ping, et al. Soft-fault Diagnosis of Nonlinear Resistance Network With Dynamic Excitation[J]. Journal of Air Force Radar Academy,2008,22(2):136—138.
- [7] 王新春,马大为,庄文许,等. 某空投装备在不同缓冲装置下的冲击响应分析[J]. 包装工程,2013,34(13):47—51.
WANG Xin-chun, MA Da-wei, ZHUANG Wen-xu, et al. Impact Response Analysis of Airdrop Equipment with Different Buffer Device[J]. Packaging Engineering,2013,34(13):47—51.
- [8] 郝贵祥,王红岩,洪煌杰. 空降车着陆缓冲过程仿真研究[J]. 机械科学与技术,2012,31(2):340—344.
HAO Gui-xiang, WANG Hong-yan, HONG Huang-jie. Numerical Simulation of Landing Cushion Process for Airborne Vehicle[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering,2012,31(2):340—344.
- [9] WEN Jin-Peng, LI Bin, YANG Zhi-chun. Study on Cushioning Characteristics of Soft Landing Airbag with Elastic Fabric[J]. International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics,2010,33(3-4):1535—1545.
- [10] EWING, BRUCE L C. Precision Parachute Capabilities and their Potential Employment in the Land Force[J]. Canadian Army Journal,2005,8(3):83—92.
- [11] CHEN Jie, SHI Zhong-ke. Flight Controller Design of Transport Airdrop[J]. Chinese Journal of Aeronautics,2011,24(5):600—606.
- [12] DESABRAIS, RILEY K J, SADECK J, et al. Low-Cost High-Altitude Low-Opening Cargo Airdrop Systems[J]. Journal of Aircraft,2012,49(1):349—354.
- [13] LIU Xin, ZHANG Zhi-yong, ZHAO Zi-heng. The Uncertain Optimisation of Buffering Characteristics of Landing Airbag in Manned Airdrop[J]. International Journal of Crashworthiness,2013,18(3):225—236.
- [14] 杨卫,齐明思,张皎. 冲压式快速空投硬式气囊缓冲技术研究[J]. 包装工程,2010,31(5):106—108.
YANG Wei, QI Ming-si, ZHANG Jiao. Research on Punched Quick Airdrop Cushion[J]. Packaging Engineering,2010,31(5):106—108.
- [15] 齐明思,刘守君,赵奇,等. 缓冲气囊着陆过程仿真研究[J]. 包装工程,2013,34(23):5—8.
QI Ming-si, LIU Shou-jun, ZHAO Qi, et al. Simulation Research on Landing Process of Cushioning Airbag[J]. Packaging Engineering,2013,34(23):5—8.

(上接第72页)

- [15] 付龙海,李蒙. 基于PID神经网络解耦控制的变风量空调系统[J]. 西南交通大学学报,2005(1):13—17.
FU Long-hai, LI Meng. Variable-air-volume Air-conditioning System Based on PID-ANN Decoupling Control Technology[J]. Journal of Southwest Jiao Tong University,2005(1):13—17.
- [16] 文生平,赵国平,瞿金平. 聚合物动态挤出过程多变量数学模型研究[J]. 机械制造,2007,45(517):19—22.
WEN Sheng-ping, ZHAO Guo-ping, QU Jin-ping. On the Multivariable Dynamic Mathematical Model of Polymer Extrusion Process[J]. Machinery,2007,45(517):19—22.