

基于 PLC 的定量称量包装控制系统设计

靳淑祎, 李世科

(河南经贸职业学院, 郑州 450046)

摘要: **目的** 提高定量称量包装机的包装精度。**方法** 在传统包装机械的基础上, 基于 PLC 设计一种定量称量包装控制系统。结合 RBF 神经网络和 PID 控制方法, 提出一种定量称量包装控制策略, 以实现闭环控制。利用 RBF 神经网络的快速自学习能力调整 PID 控制的比例、积分、微分系数。以 PLC 为核心设计控制系统硬件结构并给出人机界面组成。**结果** 通过多次实验, 包装精度得到大幅提高, 最大相对误差不超过 0.6%。**结论** 文中方法提高了定量称量包装机的精度、可靠性和可操作性。

关键词: 定量称量; 自动包装; RBF-PID 控制; PLC

中图分类号: TB486⁺.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)03-0124-05

Design of Quantitative Weighing Packaging Control System Based on PLC

JIN Shu-yi, LI Shi-ke

(Henan Institute of Economics and Trade, Zhengzhou 450046, China)

ABSTRACT: The work aims to improve the packing precision of quantitative weighing packaging machine. A quantitative weighing packaging control system was designed with the programmable logic controller (PLC) based on traditional packaging machines. Combining RBF neural network and PID control method, a quantitative weighing packaging control strategy was proposed in order to realize the closed-loop control. The proportion, integral and differential coefficient of PID control were adjusted rapidly with the RBF neural network self-learning ability. The control system hardware structure was designed with PLC as the core and the composition of human-machine interface was presented. A lot of experiments showed that the packaging precision was greatly improved and the maximum relative error was no more than 0.6%. The method described herein has enhanced the precision, reliability and maneuverability of quantitative weighing packaging machines.

KEY WORDS: quantitative weighing; automatic packaging; RBF-PID control; PLC

定量称量问题涉及到工业过程控制的方方面面, 如水泥配料包装过程、食品包装过程、化工的配料过程等^[1-5]。目前使用比较广泛的依旧是传统称量模式, 即首先进行静态机械称量; 然后利用人工不断地进行减料或加料以调节物料质量, 进而达到控制称量的效果; 最后进行人工封装^[6]。该定量称量方式不但效率极低、劳动强度大, 而且很难保证包装精度^[7-8]。近年来, 自动定量称量包装机发展十分迅速, 其集成了机、电、气等多种控制技术于一体。与传统称量方式相比, 自动定量称量能够有效地克服精度不高、包装速度慢等缺陷, 在很大程度上提高包装质

量和精度^[9-12]。在兼顾生产成本和生产效率的同时大大提高了产品市场竞争力。

考虑到定量称量包装系统是一种强干扰、大滞后、非线性的不确定系统, 很难获得其准确的数学模型^[13], 因此, 先进控制理论和技术在定量称量包装系统中的应用越来越多。例如, 文献[14]基于模糊控制理论提出了一种 Fuzzy-PID 控制方案, 并进行了仿真研究, 结果表明系统控制效果比较理想; 文献[15]基于 BP 神经网络改进了 PID 控制方法, 以期解决动态定量称量系统参数的不确定性、大滞后、随机干扰因素多等问题, 同样取得了不错的控制效果。在现有研

收稿日期: 2016-10-12

作者简介: 靳淑祎 (1982—), 女, 硕士, 河南经贸职业学院讲师, 主要研究方向为计算机应用技术、数字媒体技术。

究的基础上，基于 PLC 设计一种定量称量包装控制系统，并采用 RBF-PID 控制算法实现闭环控制，同时针对硬件设计和实验研究等方面展开研究。

1 定量称量包装机

1.1 结构

定量称量包装机的基本结构见图 1，所述定量包装机主要包括自动控制系统、夹袋机构、称量装置、下料装置、缓冲料仓等。定量包装机最上方为缓冲料仓，避免直接释放物料堵塞下料装置。通过对伺服装置进行精确控制，可以提高下料精度。另外，下料口处的截断阀门能够阻止剩余物料继续下落，进一步提高了下料精度。定量包装机控制系统主要由西门子 200 系列 PLC、称量传感器、称量控制仪表 F701 以及电控箱等设备构成。通过 PLC 编写程序实现整个包装机控制。

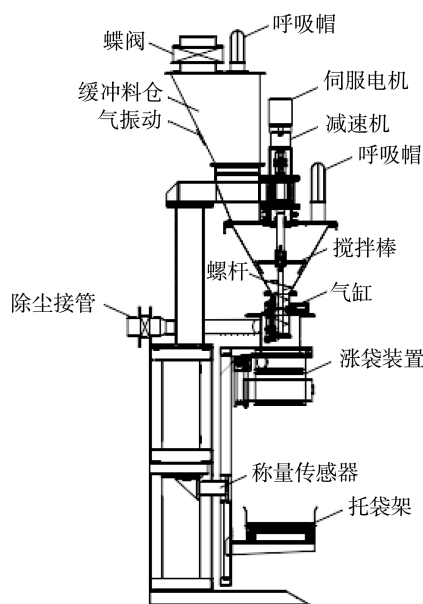


图 1 定量称量包装机结构

Fig.1 Structure of quantitative weighing packaging machine

1.2 定量包装控制原理

在现有定量包装机的基础上适当地进行改进，总体来说，加料方式仍采用二级加料的方式。所谓二级加料是指初始阶段加料速度比较快，当加料量达到设定值的 90%左右时，降低加料速度，以提高系统称量精度。初始阶段，定量称量误差比较大，此时应首先考虑加料速度，因此采用恒速控制以实现快速加料。当加料量达到某一特定值或称量误差小于设定值时，控制方式调整为神经网络控制，以确保定量称量的精度。基于神经网络的定量称量自动控制系统结构见图 2。

在定量称量过程中，称量传感器可检测到与实时质量相对应的电压信号。将该电压信号传送至 F701

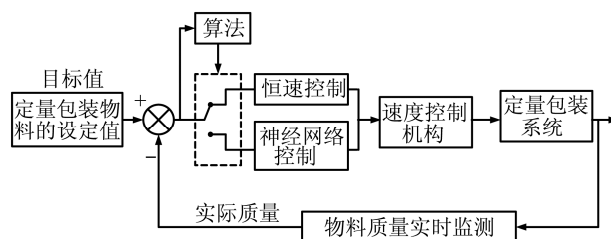


图 2 自动控制系统结构

Fig.2 Structure of automatic control system

仪表进行放大、滤波等信号调理处理，然后通过 A/D 转换器和 F701 仪表内部控制器可将电压信号转换为实际质量值。比较实际质量值与设定值得到偏差数值。当恒速控制加料结束时，切换到神经网络控制并基于偏差数值计算出当前螺杆的下料量，根据该下料量得到电机驱动量。系统选用驱动电机为伺服电机，主要通过控制电压实现电机转速的控制，进而调节螺旋加料速度。控制系统原理见图 3。

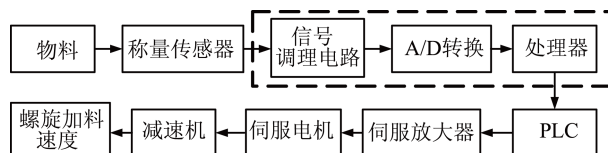


图 3 控制系统原理

Fig.3 The principle of control system

2 RBF-PID 控制

RBF 网络作为一种前向控制网络，其输入层与输出层之间的映射是非线性的，而隐含层与输出层之间的映射是线性的。RBF 网络不但可以提高学习速度而且能够避免局部极小问题，较适合实时控制。基于 RBF 网络的控制方案，可在很大程度上提高系统的自适应性、鲁棒性、精度等。

2.1 RBF 神经网络算法

该控制系统采用 3 层 RBF 网络，输入信号经输入层节点传送至隐含层，隐含层各节点由高斯基函数构成，隐含层与输出层之间成线性关系。RBF 神经网络输入和输出之间的数学表达式为：

$$y = f(x) = \sum_{i=1}^m w_i \phi(x, c_j) \quad (1)$$

式中： $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in R^n$ 为输入向量； $f(x)$ 为输出矢量； $w=(w_1, w_2, \dots, w_n)^T \in R^m$ 为权值矩阵； $\phi(x, c_j)$ 为径向基函数，其中 $c_j=(c_{j1}, c_{j2}, \dots, c_{jm})$ 表示径向基的第 j 个聚类中心。

对于上述径向基函数，其基宽向量参数的迭代算式可描述为：

$$\Delta b_j = [r(t) - y(t)] w_j h_j \frac{\|X - c_j\|}{b_j^3} \quad (2)$$

$$\mathbf{b}_j(t) = \mathbf{b}_j(t-1) + \eta \Delta \mathbf{b}_j + \alpha [\mathbf{b}_j(t-1) - \mathbf{b}_j(t-2)] \quad (3)$$

式中: $\mathbf{b}_j$ 为基宽向量; $r(t)$ 为被控对象的输入量, 对应定量称量包装控制系统所设定的包装质量; $y(t)$ 为 t 时刻被控对象的输出量, 对应称量传感器所测实际质量; h_j 为高斯基函数, $j=1, 2, \dots, m$; η 为学习速率; α 为动量因子。

另外, 径向基函数的节点中心向量参数的迭代算法可描述为:

$$\Delta c_{ji} = [r(t) - y(t)] w_j \frac{x_j - c_{ji}}{b_j^2} \quad (4)$$

$$c_{ji}(t) = c_{ji}(t-1) + \eta \Delta c_{ji} + \alpha [c_{ji}(t-1) - c_{ji}(t-2)] \quad (5)$$

式中: c_{ji} 为节点中心向量, 其中 $i=1, 2, \dots, n$, $j=1, 2, \dots, m$ 。

2.2 RBF-PID 控制系统设计

传统定量称量包装控制系统大多基于 PID 控制算法进行设计, 控制过程的关键在于 PID 参数选择。为获得比较好的控制效果, 可基于 RBF 神经网络对 PID 参数进行在线控制。由于 RBF 神经网络具有较强的非线性表达能力, 故可实现相关控制参数的优化。该控制系统主要包括 PID 控制器和 RBF 神经网络控制器 2 部分。

1) PID 控制器采用增量式 PID 控制方式实现了被控对象的闭环控制, 根据系统实际运行情况对 3 个主要参数 K_p , K_i , K_d 进行在线调整。

2) RBF 神经网络控制器的作用在于实时调整 PID 控制器的参数, 以保证控制效果的最优化。以每个周期内包装质量的偏差以及偏差导数作为其输入量, 输出量对应 PID 控制器的参数 K_p , K_i , K_d 。通过 RBF 神经网络自适应学习, 保证控制器输出即 PID 控制器参数的最佳。

假设 k 采样时刻系统控制误差为:

$$e(k) = r(k) - y(k) \quad (6)$$

PID 控制方程的比例、积分和微分项分别为:

$$\begin{cases} m(1) = e(k) - e(k-1) \\ m(2) = e(k) \\ m(3) = e(k) - 2e(k-1) + e(k-2) \end{cases} \quad (7)$$

那么增量式 PID 控制方程可表示为:

$$u(k) = u(k-1) + K_p m(1) + K_i m(2) + K_d m(3) \quad (8)$$

定义神经网络的训练指标为:

$$E = \frac{k^2}{2} \quad (9)$$

同时神经网络输出 K_p , K_i , K_d 的调整方法为梯度下降法, 对应调整关系式为:

$$\begin{cases} \Delta K_p = -\eta \frac{\partial E}{\partial K_p} = -\frac{\partial E}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial K_p} = \eta e(k) \frac{\partial y(k)}{\partial u} m(1) \\ \Delta K_i = -\eta \frac{\partial E}{\partial K_i} = -\frac{\partial E}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial K_i} = \eta e(k) \frac{\partial y(k)}{\partial u} m(2) \\ \Delta K_d = -\eta \frac{\partial E}{\partial K_d} = -\frac{\partial E}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial K_d} = \eta e(k) \frac{\partial y(k)}{\partial u} m(3) \end{cases} \quad (10)$$

由式(10)可得增量 PID 控制器参数 K_p , K_i , K_d 的表达式为:

$$\begin{cases} K_p = K_p(k-1) + \Delta K_p = K_p(k-1) + \eta e(k) \frac{\partial y(k)}{\partial u} m(1) \\ K_i = K_i(k-1) + \Delta K_i = K_i(k-1) + \eta e(k) \frac{\partial y(k)}{\partial u} m(2) \\ K_d = K_d(k-1) + \Delta K_d = K_d(k-1) + \eta e(k) \frac{\partial y(k)}{\partial u} m(3) \end{cases} \quad (11)$$

式中: $K_p(k-1)$, $K_i(k-1)$, $K_d(k-1)$ 分别为前一采样时刻 PID 控制器参数; $\frac{\partial y(k)}{\partial u}$ 为输出灵敏度; $y(k)$ 为输出信号。结合上述各关系式可得 RBF-PID 控制器的表达式为:

$$u(k) = u(k-1) + \left(K_p(k-1) + \eta e(k) \frac{\partial y}{\partial u} \right) m(1) + \left(K_i(k-1) + \eta e(k) \frac{\partial y}{\partial u} \right) m(2) + \left(K_d(k-1) + \eta e(k) \frac{\partial y}{\partial u} \right) m(3) \quad (12)$$

基于 RBF-PID 的定量称量包装机控制流程见图 4。

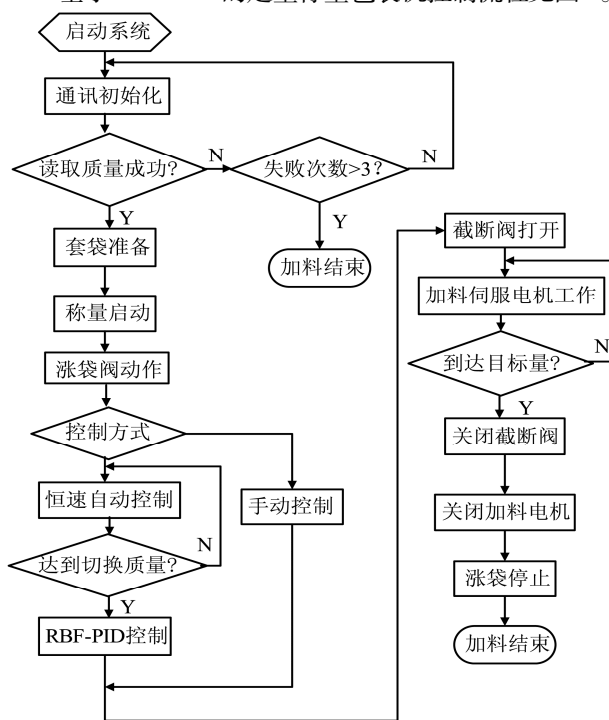


图4 定量称量包装机控制流程

Fig.4 The control process of quantitative weighing packaging machine

3 硬件设计

控制系统硬件总体结构见图 5,主要包括上位机、PLC 控制器、伺服驱动装置、称量仪器以及其他现场设备。根据定量称量包装机的设计工艺和基本控制要求,硬件系统的主要配置为:CPU 模块选用西门子 200 系列 PLC,同时选配 4 路输入 1 路输出的 AI/AO 模块和 32 路开关量输入/输出的 DI/DO 模块;触摸屏选用 TPC7062KS,用于显示和控制整个包装过程;称量控制仪表选用 F701,用于实时显示物料质量并且进行自动加料控制;伺服模块包括伺服放大器 MR-J2TBL05M 和伺服放大器选件 MR-TB20,另外还有传感器、电磁阀、蝶阀、指示灯等。

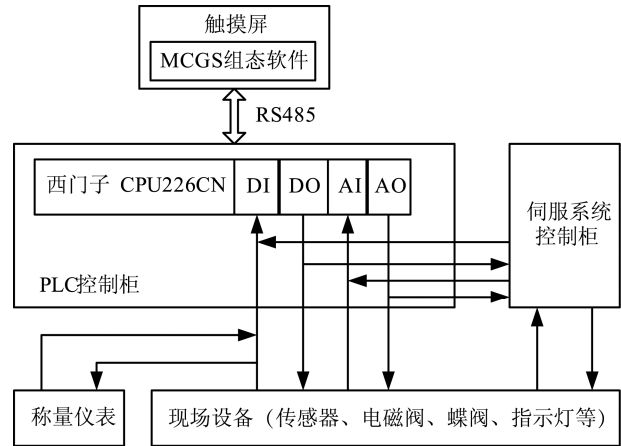


图 5 控制系统硬件结构
Fig.5 Control system hardware structure

基于人机界面,操作或开发人员可与 PLC 进行数据、信息等的交流与处理。另外,人机界面还可以实时监控、显示系统的运行状态。如果运行过程中出现故障,那么引发故障的原因会显示在人机界面上,对系统故障的解决具有很大帮助。人机界面组成见图 6。

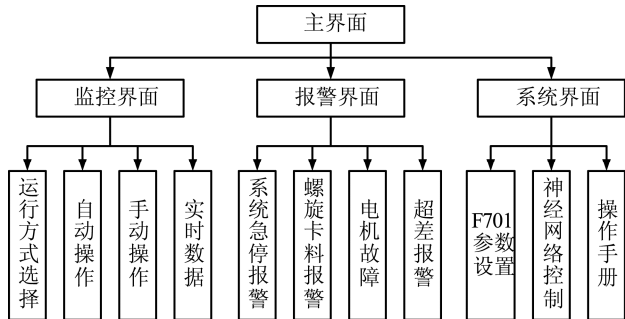


图 6 人机界面组成
Fig.6 The composition of human-machine interface

4 实验与分析

为了验证所述控制方法的可行性和有效性,这里搭建控制系统并进行相关测试。分别测量不同控制方

式下实际包装质量,即传统方式(人工控制)手动称量和所设计的定量称量包装控制方法。包装质量设定值为每袋 25 kg,实验结果见表 1。

表 1 实验数据
Tab.1 The Experimental data kg

序号	人工控制测量值	自动控制测量值
1	25.2	25.06
2	25.4	25.08
3	24.5	25.06
4	24.3	25.08
5	24.4	25.06
6	24.3	25.08
7	25.2	25.06
8	24.5	25.08
9	25.3	25.06
10	24.3	25.08
11	24.5	25.06
12	25.3	25.08
13	25.1	25.06
14	24.1	25.08
15	24.2	25.06
16	24.6	25.08
17	24.1	25.06
18	24.3	25.08
19	25.4	25.06
20	24.4	25.08

由表 1 可知,人工控制下,称量装置的称量值为 $(25\pm0.1059)\text{kg}$,标准差为 0.1087 kg,最大相对误差为 2.92%。定量称量自动控制下,称量装置的称量值为 $(25\pm0.0063)\text{kg}$,标准差为 0.0064 kg,最大相对误差为 0.6%。实验结果表明,采用所述基于 PLC 的定量称量包装控制系统,称量不确定度大幅度降低,相对误差较小,可以满足设计要求。定量称量包装装置误差较小的原因在于其先将物料称好然后装载到袋子中,而传统方式则是边称边装,惯性因素导致误差较大。

5 结语

针对定量称量包装机的控制问题,文中基于 PLC 设计了一种控制系统,并介绍了定量称量包装机的结构、控制原理以及自动定量称量包装控制系统结构;结合 RBF 神经网络和 PID 控制算法实现了定量称量包装机的闭环控制,同时给出了软件设计流程;论述了控制系统硬件结构,包括西门子 200 系列 PLC、称量传感器、F701 仪表控制器等,并介绍了人机界面的组成;在该平台上进行了实验研究,结果表明,所

述基于 PLC 的定量称量包装控制系统的称量不确定度和相对误差均较小,可以满足使用要求。

参考文献:

- [1] 盛碧琦, 胡云琴, 应忠于. 基于 AVR 单片机的定量称重系统设计[J]. 工业仪表与自动化装置, 2015(5): 59—61.
SHENG Bi-qi, HU Yun-qin, YING Zhong-yu. The Weighing System Design Based on AVR Microcontroller[J]. Industrial Instrumentation & Automation, 2015(5): 59—61.
- [2] 刘占跃. 化肥自动定量包装的 PLC 控制[J]. 化学工程与装备, 2012(3): 48—50.
LIU Zhan-yue. PLC Control of Fertilizers' Automatic Weighing and Quantitative Packing[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2012(3): 48—50.
- [3] 张俊, 熊家慧, 郭爱云. 定量包装控制系统的设计与实现[J]. 包装工程, 2016, 37(13): 134—139.
ZHANG Jun, XIONG Jia-hui, GUO Ai-yun. Design and Implementation of Quantitative Packaging Control System[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(13): 134—139.
- [4] 李明, 李丽娟, 杨松, 等. 全自动液体定量灌装机控制系统设计[J]. 包装工程, 2013, 34(5): 78—81.
LI Ming, LI Li-juan, YANG Song, et al. Design of Automatic Quantitative Liquid Filling Machine Control System[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(5): 78—81.
- [5] 冯奕红, 邢岗. 焦化厂自动配煤控制系统的设计及应用研究[J]. 制造业自动化, 2014(2): 136—139.
FENG Yi-hong, XING Gang. The Design and Application of Automatic Coal Blending Control System[J]. Manufacturing Automation, 2014(2): 136—139.
- [6] 孙晓, 周浩. 基于 PLC 的样品煤定量包装控制系统设计[J]. 包装工程, 2011, 32(21): 76—78.
SUN Xiao, ZHOU Hao. Design of Quantitative Packaging Control System Based on PLC for Sample Coal[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(21): 76—78.
- [7] 李明辉, 闫琛钰. 包装机混合式定量称重系统设计[J]. 包装工程, 2016, 37(19): 158—162.
LI Ming-hui, YAN Chen-yu. Design of Hybrid Quantitative Weighing System for Packaging Machine[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(19): 158—162.
- [8] 胡攀, 梁岚珍, 李靖. 动态定量称重系统控制策略的研究[J]. 自动化博览, 2015, 26(11): 78—80.
HU Pan, LIANG Lan-zhen, LI Jing. The Study of Control Strategy for Dynamic Quantitative Weighing System[J]. Automation Panorama, 2015, 26(11): 78—80.
- [9] 常波, 阎有运, 梁硕. 基于模糊算法的配料称重控制策略研究与应用[J]. 电子测试, 2011(5): 1—5.
CHANG Bo, YAN You-yun, LIANG Shuo. Research and Application of Control Strategy of Ingredients Weighing Based on Fuzzy Algorithms[J]. Electronic Test, 2011(5): 1—5.
- [10] 王家寅, 冯显英, 王晓彬. 基于 PLC 的试剂精密定量封装控制系统开发[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2013(10): 80—86.
WANG Jia-yin, FENG Xian-ying, WANG Xiao-bin. Development of Precise Quantitative Packaging Control System for Reagent Based on PLC[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2013(10): 80—86.
- [11] 李支茂, 谌永祥, 李双跃, 等. 柔性水泥包装线控制系统的设计研究[J]. 机械设计与制造, 2016(1): 169—171.
LI Zhi-mao, CHEN Yong-xiang, LI Shuang-yue, et al. The Control System Design and Research of Flexible Cement Packaging Line[J]. Machinery Design & Manufacture, 2016(1): 169—171.
- [12] 赵国军, 李忠虎, 张祥. 粉状稀土原料定量称重包装控制系统的设计[J]. 仪表技术与传感器, 2016(4): 46—53.
ZHAO Guo-jun, LI Zhong-hu, ZHANG Xiang. Design of Powdery Rare Earth Materials Quantitative Weighing and Automatic Packaging Control System[J]. Instrument Technique and Sensor, 2016(4): 46—53.
- [13] 王述彦, 师宇, 冯忠绪. 基于模糊 PID 控制器的控制方法研究[J]. 机械科学与技术, 2011, 30(1): 166—170.
WANG Shu-yan, SHI Yu, FENG Zhong-xu. A Method for Controlling a Loading System Based on a Fuzzy PID Controller[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2011, 30(1): 166—170.
- [14] 张俊, 李明. 基于 PLC 的模糊控制器在定量包装秤中的应用[J]. 制造业自动化, 2014, 36(5): 110—112.
ZHANG Jun, LI Ming. Application of Quantitative Packaging Machine Based on PLC Fuzzy Controller[J]. Manufacturing Automation, 2014, 36(5): 110—112.
- [15] 吴宇平, 章家岩, 章磊, 等. 定量称重包装系统 RBF 神经网络 PID 控制研究[J]. 安徽工业大学学报, 2014, 31(3): 299—302.
WU Yu-ping, ZHANG Jia-yan, ZHANG Lei, et al. A Study of Quantitative Weighing Packaging System Based on RBF Neural Network PID Control[J]. Journal of Anhui University of Technology, 2014, 31(3): 299—302.