

定量包装控制系统的设计与实现

张俊, 熊家慧, 郭爱云

(常州刘国钧高等职业技术学校, 常州 213025)

摘要: **目的** 提高定量包装机的包装精度。**方法** 在现有定量包装机基础上, 设计了以 PLC 作为控制器, 以触摸屏 TPC7062KS 为显示操作屏的定量包装控制系统, 直接获取包装系统的运行信息和各种数据, 提高了包装系统的可靠性和可操作性。在分析传统方法不足的基础上, 在梯形图程序中采用模糊 PID 控制算法进行闭环控制。**结果** 通过多次试验, 包装精度能够达到 $\pm 0.2\%$ 。**结论** 采用该控制方法, 包装精度提高了, 并且基本不会受到外界因素的影响。

关键词: 定量包装机; 包装精度; 模糊 PID 控制

中图分类号: TB486⁺.03 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)13-0134-06

Design and Implementation of Quantitative Packaging Control System

ZHANG Jun, XIONG Jia-hui, GUO Ai-yun

(Changzhou Liuguojun Vocational Technology College, Changzhou 213025, China)

ABSTRACT: In order to improve the packaging precision of quantitative packaging machine, a quantitative packaging system was designed with PLC as the controller and TPC7062KS as the operating screen based on the existing quantitative packing machine. By directly acquiring operational information and various data of the packaging system, it could improve the reliability and operability of the packaging system. Based on the analysis of the shortages of traditional methods, it adopted fuzzy PID control algorithm for closed-loop control in the ladder diagram program. The experiments showed that the packaging accuracy could reach $\pm 0.2\%$. This control method can improve the precision of packaging precision and also make it hardly influenced by external factors.

KEY WORDS: quantitative packaging machine; packaging accuracy; fuzzy PID control

定量包装在各行各业应用已经非常广泛, 包括食品、化工等不同的领域, 因此定量包装设备的种类也很多, 包括气动式、振动式、螺旋式等。在整个定量包装生产过程中, 定量包装控制是非常重要的一个环节^[1]。前期开发的自动定量包装机, 集机、电、仪、气、光等多种学科于一体, 能够最大限度地提高包装的质量与精度, 有效地克服包装的速度慢、精度不稳定的缺陷, 同时兼顾了生产效率和降低成本两方面, 提高了市场竞争力。

定量精度是非常重要的指标, 为了满足客户的要求, 必须提高定量包装的精度^[2-5]。在定量包装行业大体经历了手工称重、继电器控制、称重仪表

控制、PLC 控制等几个过程。目前公司采用的是称重仪表控制的方式, 但是这种控制系统不能满足部分客户提出的精度要求, 因此, 定量包装机的优化设计对提高定量精度有很大作用。

1 定量包装机的结构

定量包装机的结构见图 1。包装机包括缓冲料仓、下料装置、称重装置、夹袋机构和自动控制系统等组成。在最上方设计了缓冲料仓, 防止物料直接堵住下料装置。通过对伺服装置的控制, 来控制下料的精度。下料口截断门来控制剩余物料下落,

从而提高控制精度^[6]。

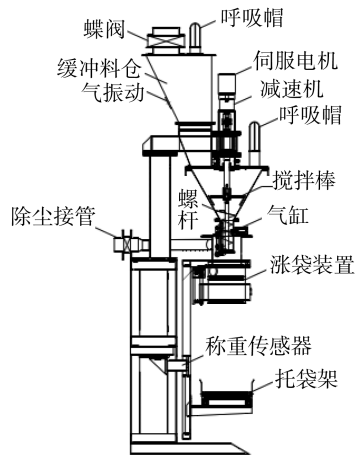


图 1 定量包装机的组成
Fig.1 Composition of quantitative packaging machine

2 定量包装控制原理

定量下料装置控制系统框图如图 2 所示。下料控制系统由 PLC 控制器、伺服装置、精密螺杆、触摸屏等工艺设备组成。该系统工作时，装置的称重传感器实时采集物料质量，把它转变成相应的电信号，经 EM235 模块转化为数字量后，送达 PLC

与设定的质量值进行比较，定量控制系统采用快加料的方式，来满足速度的要求；当到达设定的快加料质量时，改成模糊 PID 控制的加料方式来提高定量下料的精度。

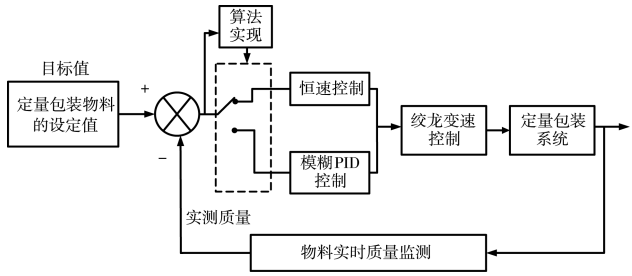


图 2 自动控制系统结构
Fig.2 Structure of automatic control system

3 控制系统硬件设计

3.1 硬件基本配置

根据自动定量包装机的基本控制与设计工艺要求，硬件的主要配置见表 1。为了使包装机能够可靠、稳定地工作，电机、电磁阀、称重传感器都采用进口设备。

表 1 主要硬件配置
Tab.1 Hardware configuration of the control system

名称	规格	订货号	数量	品牌
CPU 模块	226 CN AC/DC/Relay	6ES7 216-2BD23-0XB8	1 个	西门子
AI/AO 模块	4 路输入 1 路输出	6ES7 235-0KD22-0XA8	1 个	西门子
DI/DO 模块	32 路开关量输入/输出	6ES7 223-1BM22-0XA0	1 个	西门子
触摸屏	TPC7062KS	TPC7062KS	1 个	昆仑通态
称重仪表	F701	F701	1 个	UNIPULSE
伺服放大器	MR-J2TBL05M	MR-J2TBL05M	2 个	三菱
伺服放大器选件	MR-TB20	MR-TB20	2 个	三菱

3.2 控制系统结构设计

控制系统由上位机、PLC 控制器、伺服装置和其他现场设备构成。控制系统总体架构见图 3。

3.3 控制柜面板

控制系统控制柜的面板见图4。具体的功能和使用方法如下。

- 1) SA21 自动/手动：右旋进入手动操作，左旋进入自动操作。
- 2) SB22 包装急停：当遇到紧急情况，按下按钮，处理情况。顺时针旋转才可松开此按钮。

- 3) SB21 启动：自动模式下按下此按钮，包装机进行自动包装。
- 4) SB23 手动快加：在手动模式下，按此按钮，包装机进行手动快加料。
- 5) SB24 手动慢加：在手动模式下，按此按钮，包装机进行手动慢加料。
- 6) SB25 手动松袋：在调试阶段，按下此按钮，实现手动松袋。
- 7) H21 超差指示：称重结束时仪表判定误差超出设定范围，指示灯亮一下。
- 8) F701 称重控制仪表：实时显示物料质量并且进行自动加料控制。

9) 触摸屏: 用来显示和控制整个包装过程。

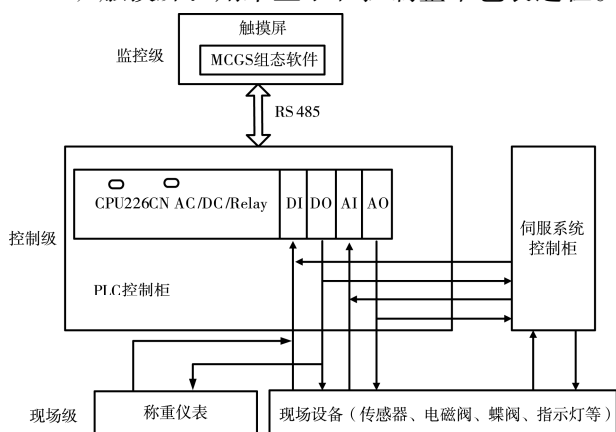


图3 控制系统架构

Fig.3 Structure of the control system

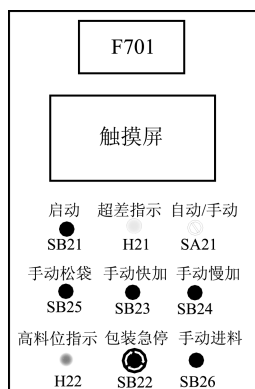


图4 控制柜面板

Fig.4 The control cabinet panel

4 软件实现

根据自动包装机工艺要求和控制需求进行控制流程的设计, 见图5。然后编写控制程序, 保证PLC能够完成设定的各种动作, 从而达到精确、自动包装的功能。

4.1 模糊PID控制的实现

为了方便说明, 设该自动定量包装系统中物料的设定质量值为 r^* , 实时测量的物料质量为 c^* 。偏差为 $e^*=r^*-c^*$, 偏差变化率为 ec^* 。本次定量包装系统中使用直接查表法来实现模糊PID控制, 具体实现步骤主要有5步^[7-9]:

1) 确定质量偏差 e^* 、质量偏差变化率为 ec^* 和PID三个参数的修正量 ΔK_p , ΔK_i , ΔK_d 的论域。

2) 根据各论域所分的等级, 结合尺度变换比例因子, 将 e^* 和 ec^* 的实际变化范围平均分为 n 档,

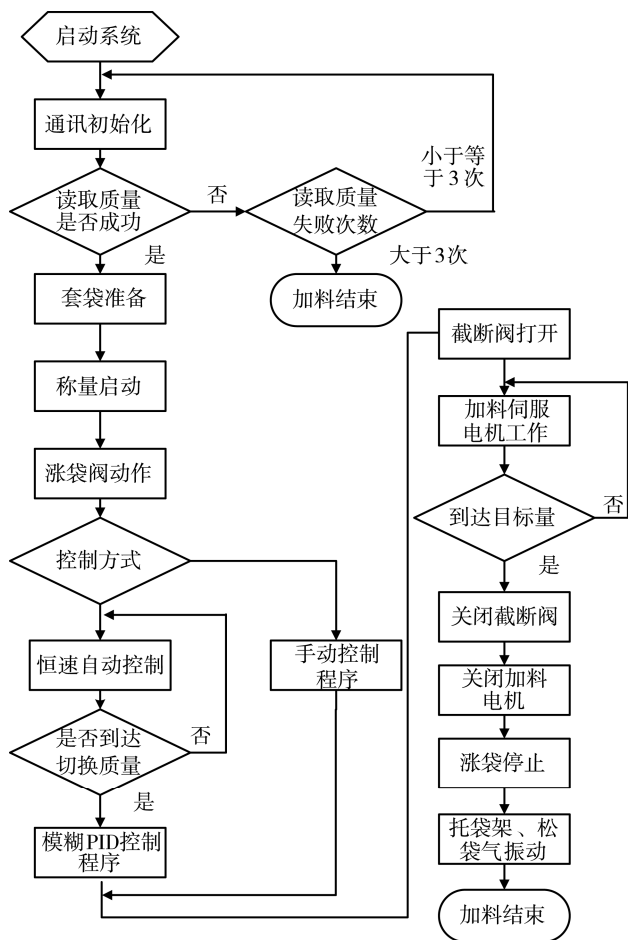


图5 PLC控制程序流程

Fig.5 The flow chart of PLC control program

使每一档和论域中一一对应, 这样对某时刻实测 e^* 和 ec^* 都可以转换成 E 和 EC 论域中相对应的 X_i 和 Y_j 。

3) 用模糊工具箱中设计定量包装系统中的模糊控制器, 在离线的条件下可以通过计算得到 ΔK_p , ΔK_i , ΔK_d 三个变量的模糊控制查询表。根据 X_i 和 Y_j 查模糊控制表, 得出PID参数的修正量 ΔK_p , ΔK_i , ΔK_d 。

4) 经过反模糊化处理, 计算出 ΔK_p^* , ΔK_i^* , ΔK_d^* , 与PID参数的原本设定参数相加。

5) 进行PID计算, 将控制变量传送给PLC模拟量输出模块。

4.1.1 输入量的模糊化及程序的设计

将其中的变量 E 和 EC 和 ΔK_p , ΔK_i , ΔK_d 的论域范围划分如下所示。

$E: X=\{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$	7档
$EC: Y=\{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$	7档
$\Delta K_p: A=\{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$	7档
$\Delta K_i: B=\{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$	7档

$\Delta K_d: C=\{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$ 7 档

将质量偏差 e^* 和偏差变化率 ec^* 的实际范围, 按照各自模糊变量的论域范围分为 7 档, 并且将实际值与相对应的模糊论域值进行对应。以质量偏差 e^* 进行举例, 描述模糊化采用的具体方法:

$$\begin{aligned} k_e e^* < X_0 + (d/2), k_e e^* \text{ 量化为 } X_0 \\ k_e e^* > X_{n-1} + (d/2), k_e e^* \text{ 量化为 } X_n \\ X_i - (d/2) \leq k_e e^* < X_i + (d/2), \\ k_e e^* \text{ 量化为 } X_i (1 \leq i \leq n) \end{aligned} \quad (1)$$

式中: $d = (X_{i+1} - X_i) / 2$ 。

模糊化具体控制流程见图 6^[10]。在编写质量偏差模糊化程序过程中, 控制程序中的这 2 个值很显然是实数, 那么肯定是 32 位浮点数, 所以存在 V 存储器 VD330 中, 将 VD330 中的数据和偏差量化因子 k_e 相乘后得到的实数结果, 应该处于偏差模糊变量的论域范围之内。由于设计过程中论域都为整数, 所以将得到的数值乘以 10, 经过以上计算得到的数值是浮点数, 并且存储在存储器 VD334 中。将存储在 VD334 中的实数值采用取整指令转化为 16 位的整数, 并且存储在存储器 VW338 中。采用 DIV_I 指令将 VW338 中的数值除以 10, 把商存储在 VW340 中, 余数存储在 VW342 中。经过上面的一系列计算, 通过余数来判断此时的整数值, 将其归到模糊论域上对应的论域值。以上所描述的是将质量偏差值进行了模糊化处理, 并且将偏差模糊变量论域中的 X_i 存储在 VW344 中。同理可以得到质量偏差变化率的量化结果 Y_j , 存在于 VW346。

4.1.2 模糊控制表的 PLC 实现方法及其查询

根据输入量模糊量化以后, 可以将误差 E 和误差变化 EC 分别量化为 X_i 和 Y_j , 可以计算出 ΔK_p , ΔK_i , ΔK_d , 根据 X_i 和 Y_j 不同的组合形式, 最终可以得到模糊控制表。该过程是一个离线过程, 将控制表存储到 PLC 的 V 寄存器。

模糊控制表容量为 7×7 点, 所以在程序的设计过程中使用的 V 寄存器为 VB10—VB156, 共 147 点。分别将模糊控制表中的各元素顺序存于相应的寄存器中, ΔK_p , ΔK_i , ΔK_d 在 V 存储器中地址分别为: VB10—VB58, VB59—VB107, VB108—VB156。

经过以上的计算过程, 3 个变量模糊控制表的 7×7 总共 147 点, 将其存储到 VB10—VB156 寄存器中。根据质量误差 E 和误差变化率 EC 模糊化的结果 X_i 和 Y_j , 找到对应的寄存器。可以得出以下关系式:

$$\begin{aligned} V_{ij}(\Delta K_p) &= 10 + (X_i + 3) \times 7 + (Y_j + 3) \\ V_{ij}(\Delta K_i) &= 59 + (X_i + 3) \times 7 + (Y_j + 3) \\ V_{ij}(\Delta K_d) &= 108 + (X_i + 3) \times 7 + (Y_j + 3) \end{aligned} \quad (2)$$

式中: $V_{ij}(\Delta K_p)$ 为 ΔK_p 中 X_i 和 Y_j 对应的 V 寄存器的序号。

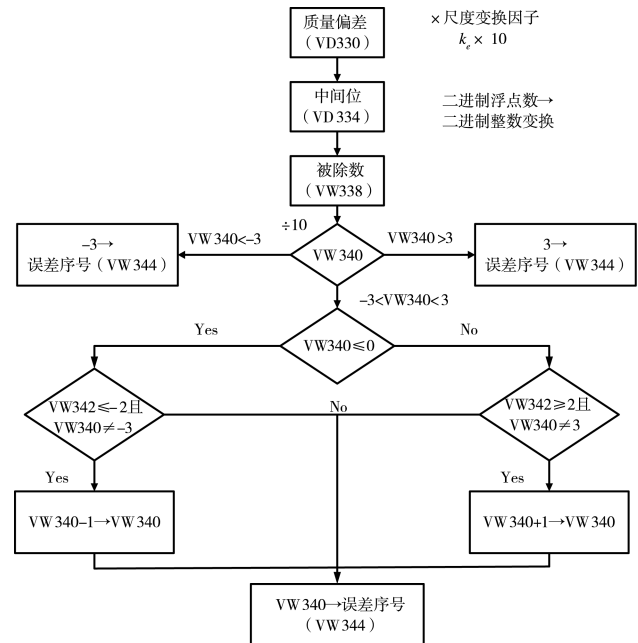


图 6 误差值模糊化过程

Fig.6 Error fuzzification process

图 7 为查表运算的流程。用 PLC 很容易实现式中变量的运算, 将运算结果存入 AC1 中。在西门子 200 的 PLC 中使用指针的形式来进行寻址。使用 & 来建立指针, 并且使用 * 来读取指针。以查找 ΔK_p 为例, 在 VD160 建立指针, 指针指向以 VB10 为首的地址, 读取在指针 VD160 所指向的首地址开始的一个字节。当 AC1=0 时, 指向控制表的首地址为 VB10。根据 AC1 中的不同数值, 控制表的地址也随之发生变化。通过传送指令 MOV 将其中的数值传送到 VW180 中, 这样就完成了在线查表的过程, 结果存于 VW180。具体程序如图 8 所示。 ΔK_i , ΔK_d 亦是如此, 分别存在寄存器 VW182 和 VW184 中。

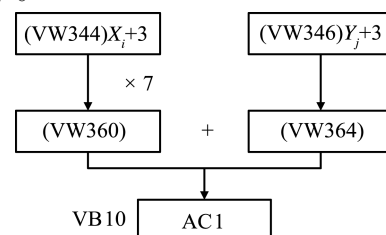


图 7 查表流程

Fig.7 Look-up flow process

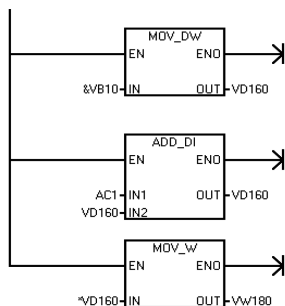


图8 查表程序

Fig.8 Look-up flow process

4.1.3 控制量的去模糊化及输出

对模糊输出量 U^* 去模糊化, 将 X_i 和 Y_j 查表得到的模糊输出量 U^* 乘以变换比例因子 k_u , 便可以得到精确量 u^* 。完成运算之后, 就返回到主程序中, 得到实际的 $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$, 分别将 3 个参数存在 VD192, VD196, VD200 中, 然后可以进行 PID 控制。

4.1.4 参数可调整 PID 程序设计

采用 PLC 编程来实现参数可调整 PID 程序控制^[11]。具体程序如下:

```
LD SM0.1 //上电第一扫描周期 SM0.1=ON
MOVR 1.0, VD104 //设定的数值 100%
MOVR 0.1, VD116 //采样时间 0.1 s
MOVB 100, SMB34 //定时中断 0 间隔为
```

100 ms

```
ATCH INT_0:INT0, 10 //允许中断
LD SM0.0
CALL SBR_1:SBR0 //调子程序 1
CALL SBR_2:SBR1 //调子程序 2
CALL SBR_3:SBR2 //调子程序 3
MOVR VD304, VD100
/R 32000.0, VD100 //将数值存入 Table 表
PID VB100, 0 //执行 PID
MOVR VD108, AC0 //把输出值送入累加器
AC0
*R 32000.0, AC0 //AC0 为刻度值 0~32000
ROUND AC0, AC0 //把实数转换为 32 为整数
DTI AC0, AC0 //把 32 为整数转为 16 为整数
MOVW AC0, AQW0 //送至 D/A 转换器输出
```

5 监控系统设计

通过人机界面, 操作人员可以与 PLC 进行信息、数据等的处理与交流。同时人机界面能够更直观地显示整个系统的运行状态, 实时对运行状态进行监控, 当出现报警故障时, 故障可能原因显示在人机界面上, 对操作人员解决系统故障提供了很大的帮助^[12-15]。人机界面的组成见图 9。

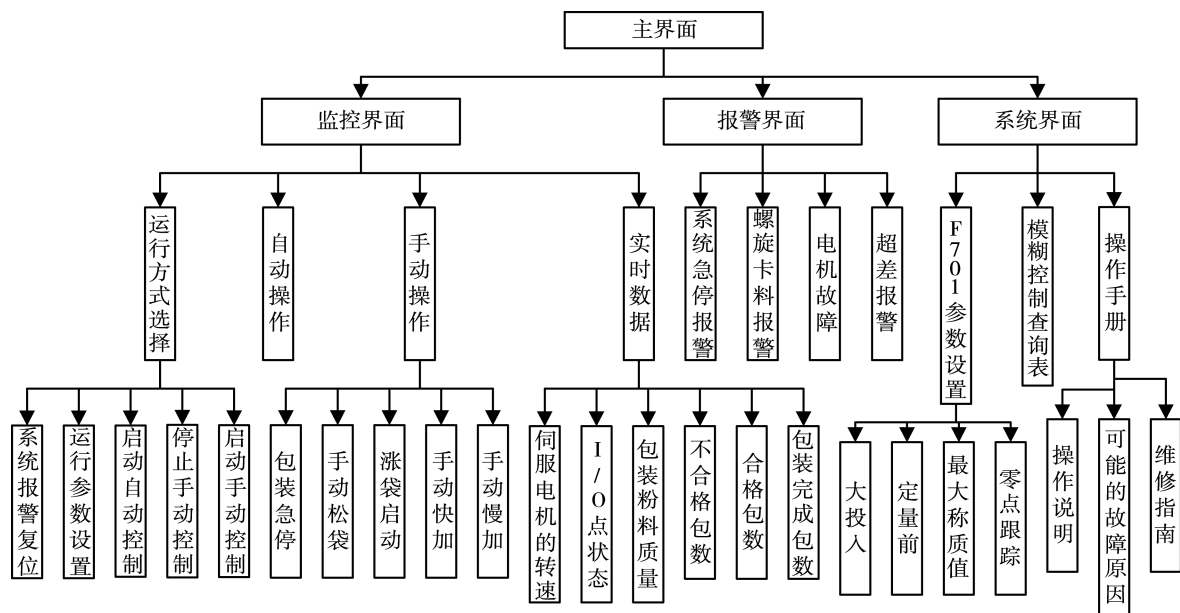


图9 人机界面组成

Fig.9 Composition of the man-machine interface

PID 的初始参数 K_p, K_i, K_d 分别取值为 30.0, 5.0, 1.0, 控制系统最终的用户界面如图 10 所示。在图 10a 可以通过按钮切换来实现手动、自动功能。

在界面中能够显示完成包装的为 53 包, 其中合格的包数为 51 包, 不足包数为 1 包, 过量包数为 1 包。在图 10b 中可以实现包装质量的实时曲线显示,

也可以通过左边的表格实现质量的实时记录, 将需要的数据通过 USB 接口导入到存储设备中。



图 10 运行界面

Fig.10 The actual operation interface

6 结语

设计了以 S7-200PLC 为控制核心、以触摸屏 TPC7062KS 为操作屏的定量包装控制系统。在分析传统方法不足的基础上, 并且在现有包装设备的基础上加以改造, 采用模糊 PID 控制算法进行闭环控制, 从而提高了包装精度。

参考文献:

- [1] 戴宏民, 戴佩燕, 周均. 中国包装机械发展的成就及问题[J]. 包装学报, 2012, 14(1):61—65.
DAI Hong-min, DAI Pei-yan, ZHOU Jun. The Achievements and Problems of China's Packaging Machinery Development[J]. Packaging Journal, 2012, 14(1):61—65.
- [2] 付长江. 强制給料定量包装机的研究[D]. 天津:天津科技大学, 2010.
FU Chang-jiang. Forced Feeding Quantitative Packaging Machine Research[D]. Tianjin:Tianjin University of Science and Technology, 2010.
- [3] 李学忠, 张国全. 全自动包装机 PLC 控制系统设计[J]. 广西轻工业, 2007, 2(2):41—42.
LI Xue-zhong, ZHANG Guo-quan. Automatic Packaging Machine PLC Control System Design.Guangxi Journal of Light Industry, 2007, 2(2):41—42.
- [4] 刘占跃. 化肥自动定量包装的 PCL 控制[J]. 化学工程与装备, 2012(3):48—50.
LIU Zhan-yue. PCL Control of Fertilizers' Automatic Weighing and Quantitative Packing[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2012(3):48—50.
- [5] 蔡旭明. 基于全自动包装机 PLC 的优化设计[J]. 机电工程技术, 2012, 41(7):31—34.
CAI Xu-ming. Optimization Design Based on PLC Automatic Packing Machine.Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2012, 41(7):31—34.
- [6] 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. Based on PLC Fuzzy Controller in the Application of Quantitative Packing Machine[J]. Manufacturing Automation, 2014, 36(5):110—112.
- [7] 朱伟兴, 陈垠昶. 模糊 PID 控制在汽车 ABS 中的应用与仿真研究[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2004, 25(4):310—313.
ZHU Wei-xing, CHEN Yin-chang. Application and Simulation of Automotive ABS using Fuzzy PID Control[J]. Journal of Jiangsu University(Natural Science Edition), 2004, 25(4):310—313.
- [8] 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.
- [9] 李学忠, 张国全. 基于 S7-200 的超临界萃取参数的模糊 PID 控制[J]. 微计算机信息, 2009, 25(7):32—33.
Li Xue-zhong, Zhang Guo-quan. Fuzzy-PID Control of Supercritical Extraction based on S7-200[J]. Microcomputer Information, 2009, 25(7):32—33.
- [10] 苏振. 基于 PLC 的橡胶坝模糊控制系统的设计[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2008.
SU Zhen. Design of Rubber Dam Fuzzy Control System Based on PLC[D]. Harbin:Harbin Institute of Technology, 2008.
- [11] 祁鸿芳, 王淑红. PID 算法在西门子 PLC 模拟量闭环控制中的实现[J]. 机床电器, 2005, 32(1):22—25.
QI Hong-fang, WANG Shu-hong. The Realization in PID Algorithm in SIMENS PLC Simulation Quantity Closed Loop Control[J]. Machine Tool Electrical Appliances, 2005, 32(1):22—25.
- [12] 马国华. 监控组态软件及其应用[M]. 北京:清华大学出版社有限公司, 2001.
MA Guo-hua. Monitoring Configuration Software and Application[M]. Beijing:Tsinghua University Press co., LTD, 2001.
- [13] 张华强, 高蕾, 孟凡刚. 基于 PLC 和 HMI 的换热站控制系统设计[J]. 工业控制计算机, 2006, 19(9):48—49.
ZHANG Hua-qiang, GAO Lei, MENG Fan-gang. Design of Heat-exchanging Station Control System based on PLC and HMI[J]. Industrial Control Computer, 2006, 19(9):48—49.
- [14] 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.
- [15] 沈于林, 孙维连, 张晓茹, 等. PLC 和触摸屏在金相切割机中的应用[J]. 微计算机信息, 2009, 25(1):80—81.
SHEN Yu-lin, SUN Wei-lian, ZHANG Xiao-ru, et al. Application of PLC and Touch Screen in the Metallographic Cutting[J]. Microcomputer Information, 2009, 25(1):80—81.