

## 立式包装机包装材料恒速外送控制

郭琳

(常州工程职业技术学院, 常州 213164)

**摘要:** **目的** 提高立式包装机的薄膜包装材料运行速度控制精度, 提升包装袋的袋长精度和袋形外观质量。**方法** 分析了影响立式包装机包装材料恒速控制精度的因素, 在此基础上提出自适应模糊 PID 的控制策略, 以实现系统参数的在线调整及优化, 进而实现包装材料的速度在线调节。同时基于 PLC 搭建立式包装机控制系统, 介绍控制系统的硬件结构和软件设计方法。**结果** 实验结果表明, 文中提出的控制方法包装精度约为  $\pm 0.1$  mm, 有效提高了包装材料外送速度精度, 使其速度误差控制在允许范围以内。**结论** 该控制系统实现了包装材料外送速度的精确控制, 提高了袋长精度和袋形质量。

**关键词:** 立式包装机; 恒速控制; 模糊控制; 软件设计

**中图分类号:** TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)01-0141-05

## Constant Speed Feeding Control of Vertical Packaging Machine Packaging Material

GUO Lin

(Changzhou Vocational Institute of Engineering, Changzhou 213164, China)

**ABSTRACT:** The work aims to improve the running speed control accuracy of film packaging material of vertical packaging machine and enhance the bag length precision and bag shape appearance quality of the packaging bag. The factors affecting the accuracy of the constant speed control of packaging materials of vertical packaging machine were analyzed. Based on that, an adaptive fuzzy PID control strategy was proposed, so as to achieve the on-line adjustment and optimization of the system parameters, thus realizing the on-line regulation of the speed of the packaging materials. At the same time, the control system of the vertical packaging machine was established based on PLC. The hardware structure and software design method of the control system were introduced. The experimental results showed that the packaging accuracy of the proposed control method was about  $\pm 0.1$  mm, which could effectively improve the feeding speed accuracy of the packaging material and control the speed error within the allowable range. The control system realizes the precise control of the feeding speed of the packaging material, and improves the bag length precision and the bag shape quality.

**KEY WORDS:** vertical packaging machine; constant speed control; fuzzy control; software design

随着我国经济的快速发展和人民生活水平的逐步提高, 包装机工业得到了迅猛的发展, 包装机械行业迎来了巨大的发展机遇<sup>[1-3]</sup>。包装机械即完成物品的填充、裹包、封口等一系列的包装过程的一类机器, 目前包装机械具有广泛的市场需求, 全球的包装机需求量每年以 6.5% 的速度增长, 可见包装机械发展空间巨大<sup>[4-6]</sup>。

在众多的包装机械中, 立式包装机属于量大面广的一类, 其广泛应用于食品包装、药品包装以及化工

等领域中, 适用于各种粉类、颗粒状和较小块状物品的包装。立式包装机通常存在复合薄膜包装材料运行速度控制精度低, 速度在受到一定干扰时出现较大幅度波动, 从而严重影响了包装袋的袋长精度以及袋形外观。目前, 针对以上问题采取的办法通常是对拉膜机械结构进行改造, 例如当前较为先进的气缸预紧式拉膜机构和真空吸附形式的拉膜机构, 但上述方法仅在包装速度较慢时包装材料速度控制较为理想, 当包装机运行速度较快时, 包装材料速度的稳定控制仍较

收稿日期: 2017-04-06

基金项目: 2014 年度江苏省建设系统科技项目 (2014ZD32)

作者简介: 郭琳 (1972—), 女, 硕士, 常州工程职业技术学院副教授, 主要研究方向为控制理论与控制工程。

为困难。包装材料速度控制通常采用 PID 进行控制，但包材速度控制系统是具有非线性、时变性特点的系统，建立数学模型较为困难。模糊 PID 控制规则不需要建立精确的数学模型，只需要根据经验制成经验规则表，通过规则经验表实时对 PID 参数进行调整，进而提高系统的自适应性<sup>[7-11]</sup>。为了提高立式袋成型填充封口包装机的包装材料运送速度的稳定性，提出一种自适应模糊 PID 控制方法，采用变论域模糊控制实现控制参数自整定和控制规则的自调整，并拟将其应用于立式包装机控制系统中。

### 1 立式包装机概述

#### 1.1 工作原理

立式包装机的机械结构见图 1。该包装机主要由卷膜、导辊、色标传感器、称量机构、拉膜机构、横封机构、纵封机构等组成。立式包装机的工作过程为：先将包装卷膜装夹稳固，将包装材料穿过一组导辊，并延伸到翻领成型器，利用成型器将包装材料制成筒状后包裹在下料管外，在卷膜和成型器之间安装有色标检测传感器。成型器前端的纵封机构开始动作对包装袋纵封进行纵向热合，然后物料沿着下料管输送到下端已被热合后成型的包装袋中，牵引装置根据色标检测传感器检测到的位置将袋筒沿着下料管向下拉动一个袋长，横封再次进行封合，将包装袋的上端进行封合并将包装袋切断，从而完成一个完整的包装。

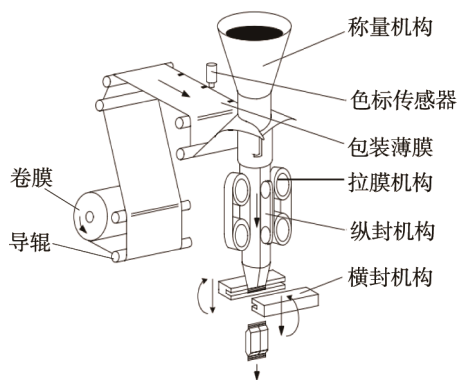


图 1 立式包装机的机械结构

Fig.1 Mechanical structure of vertical packaging machine

#### 1.2 包装材料运送速度分析

横封过程原理见图 2。当色标传感器检测到包装薄膜上的色标时，色标传感器将信号反馈到控制器的运动控制模块，由运动控制模块控制横封机构动作。通过控制多段不同的速度完成一个完整的横封，但每一段速度与包装机的包装速度成正比。由此可以看出，当包装速度一定时，横封结构的每段速度均不发生变化，因此横封切刀完成一个横切过程的时间  $t$  固

定不变。

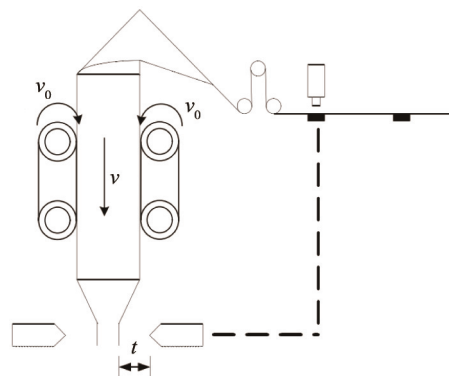


图 2 拉膜及横封切断过程

Fig.2 Film pulling and cross sealing cutting process

当包装机包装速度设定后，拉膜机构的线速度  $v_0$  恒定不变，拉膜机构中的 2 个压辊直接压紧在包装材料外层上，通过摩擦带动包装材料运动，当由于包装材料表面摩擦系数不同，导致拉膜机构以匀速带动包装材料运动时，包装材料的速度  $v$  仍然不是匀速变化的，必然存在  $v < v_0$ ，这种现象通常称为“打滑”，这种“打滑”也是非均匀的，见图 3，包装材料速度曲线低于目标速度曲线。

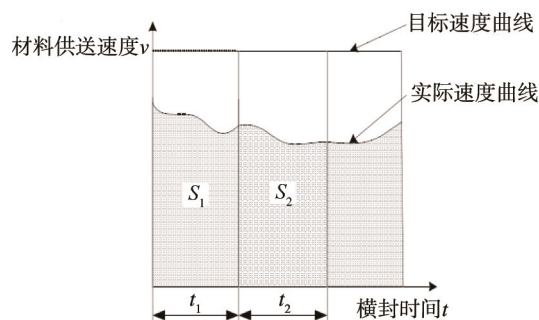


图 3 包装材料运送速度曲线

Fig.3 The feeding speed curve of packaging material

由图 3 可以看出，当包装速度一定时，显然有  $t_1 = t_2 = t$ 。由于包装材料运送速度的随机变化，导致在相同时间  $t$  里走过的位移不同。由于横封切刀根据色标传感器信号进行切割，且相邻色标之间的距离相等，从而导致袋长误差的出现， $S_1$  和  $S_2$  之差便是前后 2 个袋长之差。

### 2 模糊 PID 控制

由前面分析可以看出，立式包装机包装材料运送是一个非线性、时变的复杂系统，很难建立精确的数学控制模型。当前的包装材料运送系统控制主要采用传统 PID 控制，但该控制方法在工程调试过程中较为复杂，依赖于工程人员经验，因此传统 PID 控制并不

适用于目前快速高效的物料包装。模糊 PID 控制对于非线性、时变性的数学模型建立较为困难的系统具有良好的控制效果，将模糊控制与 PID 控制结合在一起，综合模糊控制适应性强和 PID 控制精度高的优点，将该控制方法应用于立式包装机包装材料供送系统，从而提高包装材料供送速度控制精度<sup>[12-15]</sup>。系统运行时首先计算出设定的包装材料速度和实际的包装材料速度的误差  $e(k)$ ，并将其送到 PID 控制器中，其离散 PID 控制模型为：

$$u(k) = K_p e(k) + K_I \sum_{i=0}^k e(i) + K_D [e(k) - e(k-1)] \quad (1)$$

式中： $u(k)$  为  $k$  时刻控制器的输出量； $K_p$  为比例系数； $K_I$  为积分系数； $K_D$  为微分系数； $e(i)$  为  $i$  时刻控制器的输出量； $e(k-1)$  为上一次采样时包装材料速度之差。

由于 PID 存在参数修改依赖性较大，不能进行自适应调整等缺点，为此文中采用模糊控制器对 PID 参数进行自适应调整。通过计算包装材料供送系统误差  $e$  和误差变化率  $e_c$ ，利用模糊控制规则进行模糊推理，并通过查询模糊控制规则表进行 PID 参数自我调整，控制器输出量为  $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_I$  和  $\Delta K_D$ ，模糊 PID 控制器结构见图 4。

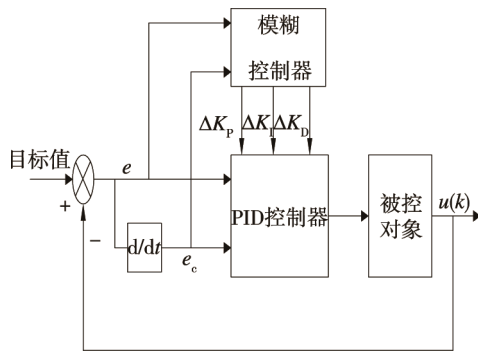


图 4 模糊 PID 控制器结构  
Fig.4 The structure of fuzzy PID controller

取  $e, e_c, \Delta K_p, \Delta K_I, \Delta K_D$  的模糊集合论域为  $\{-7, -6, -5, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ 。其模糊集合为  $\{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$ 。 $e, e_c$  以及  $\Delta K_p, \Delta K_I, \Delta K_D$  的隶属度函数采用三角形，见图 5。

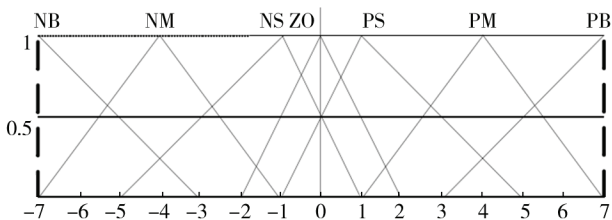


图 5 隶属度函数  
Fig.5 Membership function

找到 PID 控制器中的参数  $K_p, K_I, K_D$  与  $e, e_c$  之间

的模糊逻辑关系，利用模糊控制对 PID 参数进行自适应调整，从而使包装材料供送速度具有良好的动静态性能。根据工程人员的经验，建立合适的模糊控制规则，此处以  $\Delta K_p$  为例，见表 1。

表 1  $\Delta K_p$  模糊控制规则  
Tab.1 Fuzzy control rule of  $\Delta K_p$

$e$	$e_c$					
	NB	NS	NZ	PZ	PS	PB
NB	NB	NB	NS	NS	NS	ZO
NS	NB	NS	NS	NS	ZO	PS
ZO	NB	NS	ZO	ZO	PS	PB
PS	NS	ZO	PS	PS	PB	PB
PB	ZO	PS	PS	PS	PB	PB

### 3 控制系统设计

#### 3.1 硬件设计

根据立式包装机械工艺要求和控制需求，基于 PLC 控制器搭建其控制系统。控制方案大体可描述为：FX2N PLC 输入端口 X0, X1 用于采集主电机 A 相、B 相脉冲，利用高速计数器统计脉冲个数，通过控制程序调整纵封伺服电机速度，进而实现色标自动定位。采用光电式传感器采集色标、刀位信号，结合控制程序实现包装机械色标追踪、自动运行、点动等操作。利用热电偶配合 PLC 温控模块实现纵封、横封机构温度采集。1 个旋转开关用于包装机械自动模式/手动模式切换，3 个按键用于包装机械启动、停止、急停控制。通过触摸屏进行包装袋长、包装速度、热封温度等参数的设置，并将设定参数传送至 PLC 进行处理，计数、故障、报警等信息同样由触摸屏显示。

根据控制系统总体方案以及包装工艺流程，总共需要 11 个输出接口以及 13 个输入接口。三菱 FX2N 系列 PLC 具有比较丰富的指令控制系统，如运动控制、通讯控制以及十分灵活的扩展功能。扩展后可保证控制系统具备多路 A/D 和 D/A 通道，以满足多点速度检测、控制的要求，有利于实现包装机械色标准确定位。PLC 温控模块 FX2N-4AD-TC 实现纵封机构和横封机构的温度采集，并将模拟温度信号转换为数字信号，然后将其传送至 PLC 内进行处理。当出现色标和刀位信号时，会触发光电开关并向 PLC 发送一个脉冲。如上所述，结合模糊 PID 控制进行速度匹配和位置匹配，从而提高了包装精度。伺服电机选用通用松下 MINAS-A5 系列 MDME152GCH 伺服电机，与其配套的伺服驱动器为 MDDHT5540。电机相关参数：额定转速为 3000 r/min，额定输出功率为 750 W，最大转速为 4500 r/min，最大输出转矩为 7.2 N·m，瞬间最大转速为 5175 r/min。另外，选用威纶

MT6070iE 系列触摸屏作为人机交互界面，其不仅可以选控制参数，如包装袋长、速度、热封温度的输入，还可对包装机械运行情况进行实时显示等。

### 3.2 软件设计

系统的软件流程见图 6，其中主要由目标值计算模块、模糊 PID 控制模块、测速模块、伺服驱动控制模块等多个软件模块组成。首先利用人机触摸屏设定包装袋长、生产速度等值，然后通过 PLC 软件程序计算出相应的包装速度和标准袋长所需的脉冲值，该脉冲可以作为脉冲标准值。利用测速指令通过伺服电机编码器得到脉冲频率，该频率便是实际速度。利用目标值和实际速度得到误差值，然后根据模糊 PID 控制方法，在每个扫描周期中对伺服脉冲输出值以及脉冲频率进行调整，从而实现包装袋长和包装材料供送速度的精确控制。

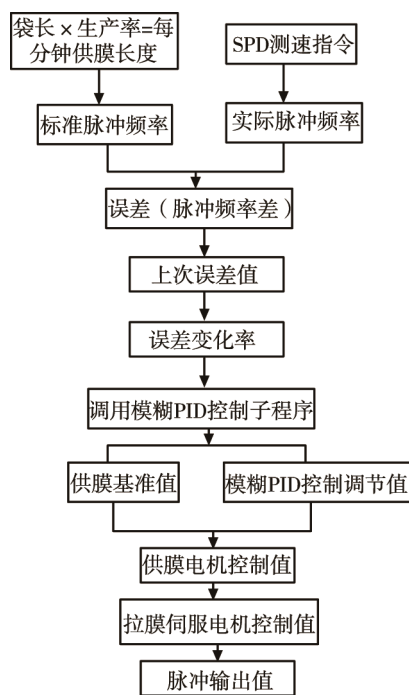


图 6 软件流程

Fig.6 Software process

### 4 实验分析

为验证所述立式包装机包装材料恒速控制的可行性和有效性，选用上述的 FX2N 系列 PLC 和伺服系统搭建控制平台，并进行相关实验研究。设定包装速度为 70 包/min，包装长度在 100 ~ 300 mm 内随机选取，采用传统 PID 控制和模糊 PID 控制时，实测包装误差见表 2。由表 2 可以看出，采用模糊 PID 控制时的包装长度误差明显要低于传统 PID 控制，由此可以证明模糊 PID 控制方法能够较好地控制包装材料速度，能够显著提高包装精度，提升包装质量。

表 2 实验结果

Tab.2 The experimental results mm

传统PID控制		模糊PID控制	
包装长度设定值	偏差数值	包装长度设定	偏差数值
100	+0.5	100	+0.2
110	+0.7	110	+0.1
120	-1.5	120	+0.1
130	-0.5	130	-0.1
140	+1	140	+0.1
150	+0.4	150	0
160	-0.5	160	+0.2
170	-0.5	170	-0.1
180	+0.5	180	-0.2
190	-1.1	190	+0.2
200	+1.3	200	+0.1
210	+1.2	210	+0.2
220	-0.9	220	-0.1
230	-0.7	230	+0.2
240	+0.8	240	-0.1
250	-0.6	250	-0.2
260	+0.7	260	+0.1
270	-0.8	270	-0.2
280	-0.6	280	+0.1
300	-0.5	300	-0.1

### 5 结语

针对立式包装机包装材料供送速度控制精度低，提出了一种模糊 PID 控制方法，分析了影响立式包装机包装材料恒速控制精度的因素，并在此基础上提出了自适应模糊 PID 的控制策略以实现系统参数的在线调整及优化，进而实现包装材料的速度在线调节。同时基于 PLC 搭建了立式包装机控制系统，介绍了控制系统的硬件结构和软件设计方法。该控制系统实现了对包装材料供送速度的精确控制，提高了袋长精度和袋形质量。

#### 参考文献:

[1] 刘祎, 李虹, 李瑞琴, 等. 现代包装机械设计质量综合评价体系研究[J]. 包装工程, 2015, 36(21): 75—79. LIU Yi, LI Hong, LI Rui-qin, et al. Comprehensive Evaluation System for the Design Quality of Modern Packaging Machinery[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(21): 75—79.

[2] 杜巧连, 陈旭辉, 舒柏和. 自动化包装机械控制系统的设计方法研究[J]. 机械管理开发, 2015, 30(6): 27—32. DU Qiao-lian, CHEN Xu-hui, SHU Bai-he. Study on the Design Method of Packaging Machinery Automa-



- tion Control System[J]. Mechanical Management and Development, 2015, 30(6): 27—32.
- [3] 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, 4(1): 61—65.  
DAI Hong-min, DAI Pei-yan, ZHOU Jun. Achievements and Problems in China's Packaging Machinery Developments [J]. Packaging Journal, 2012, 4(1): 61—65.
- [4] 许德群, 肖衡. 我国包装与食品机械发展现状及趋势[J]. 包装与食品机械, 2011, 29(5): 47—50.  
XU De-qun, XIAO Heng. Development Status and Trend of Packaging and Food Machinery in China[J]. Packaging and Food Machinery, 2011, 29(5): 47—50.
- [5] 戴宏民, 戴佩燕, 周均. 世界包装机械的发展趋势及中国包装机械的发展对策[J]. 包装学报, 2012, 4(2): 46—51.  
DAI Hong-min, DAI Pei-yan, ZHOU Jun. Trend of World Packaging Machinery Development and the Countermeasure of China Packaging Machinery Development[J]. Packaging Journal, 2012, 4(2): 46—51.
- [6] 李文友, 胡振泉, 叶保华. 高精度桶装液体灌装生产线的研制[J]. 包装与食品机械, 2005, 23(4): 4—6.  
LI Wen-you, HU Zhen-quan, YE Bao-hua. The Development of Precision Barreled Filling Machine[J]. Packaging and Food Machinery, 2005, 23(4): 4—6.
- [7] 李泉, 宁芳青, 杨鹏, 等. 基于模糊 PID 的焦炉温度及优化控制[J]. 工业控制计算机, 2015, 28(9): 65—66.  
LI Quan, NING Fang-qing, YANG Peng, et al. Research on Coke Oven Temperature System Based on GA Fuzzy PID Algorithm[J]. Industrial Control Computer, 2015, 28(9): 65—66.
- [8] 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.
- [9] 宋乐鹏, 刘斌, 陈红芬, 等. 基于 Bang-Bang 模糊自适应 PID 的干燥窑温度控制[J]. 计算机与应用化学, 2012, 29(7): 881—884.  
SONG Le-peng, LIU Bin, CHEN Hong-fen, et al. Approach to Controlling the Temperature of Drying Kiln Using Bang-Bang Adaptive Fuzzy PID Controller[J]. Computer and Applied Chemistry, 2012, 29(7): 881—884.
- [10] DU Chun-hua, CHEN Shao-ke, LIANG Xiao-ming. Application of Fuzzy Theory in Temperature Control System of Thermoforming Machine[J]. Procedia Engineering, 2011(15): 639—643.
- [11] 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.
- [12] DENG J Q. The Smith-PID Control of Three-tank-system Based on Fuzzy Theory[J]. Journal of Computers, 2011, 6(3): 514—522.
- [13] 吴渊. 基于模糊 PID 的循环水温度控制系统研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2013.  
WU Yuan. The Circulating Water Temperature Control System based on Fuzzy PID[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2013.
- [14] HAN L, ZHANG Z Y. The Application of Immune Genetic Algorithm in Main Steam Temperature of PID Control of BP Network[J]. Physics Procedia, 2012, 24(1): 80—86.
- [15] 赵金, 刘洋. 基于模糊推理的专家自整定 PID 控制器[J]. 华中科技大学(自然科学版), 2010, 38(6): 5—7.  
ZHAO Jin, LIU Yang. Fuzzy Reasoning-based Expert Self-Tuning PID Controller[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology(Natural Science Edition), 2010, 38(6): 5—7.