

基于双模糊 PID 的食品包装机热封温度控制研究

杨娜, 武昆

(西京学院, 西安 710021)

摘要: **目的** 为提高食品包装产品的袋形质量和热封质量, 提出一种提高食品包装机热封温度控制精度和稳定性的方法。**方法** 针对食品包装中塑料薄膜热封温度控制系统的稳定性和精确度不佳, 造成包装材料过度收缩、封口不严等质量问题, 设计双模糊控制器对 PID 参数进行在线整定, 当温度偏差较大时采用模糊控制 1 进行粗调, 以实现较快的动态响应; 当温度偏差较小时采用模糊控制器 2 进行精调, 以实现较好的稳态精度。并将双模糊 PID 控制器与传统 PID、模糊 PID 控制器进行仿真对比。**结果** Matlab 仿真结果表明, 双模糊 PID 控制器具有调节速度快、鲁棒性强、超调量小的优点, 可以有效提升控制系统的控制精度和稳定性。**结论** 双模糊 PID 控制器自适应能力强, 能够克服食品包装机热封温度控制系统非线性、时变性等缺点, 实现了包装机热封温度快速稳定调节。实验测试表明, 将热封温度偏差控制在 $\pm 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内, 在一定程度上提升了食品包装质量和设备自动化水平。

关键词: 食品包装机; 热封; 双模糊 PID; Matlab

中图分类号: TB486 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)17-0187-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.17.027

Heat-sealing Temperature Control of Food Packaging Machine Based on Double Fuzzy PID

YANG Na, WU Kun

(Xi Jing University, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: The work aims to propose a method of improving the control accuracy and stability of heat sealing temperature of food packaging machine, in order to improve the bag shape quality and heat sealing quality of food packaging products. In view of the poor stability and accuracy of the temperature control system of plastic film heat sealing in food packaging, which caused the quality problems of packaging materials such as excessive shrinkage and improper sealing, a double fuzzy controller was designed to tune the PID parameters online. When the temperature deviation was large, the fuzzy controller 1 was used for rough tuning to achieve faster dynamic response. When the temperature deviation was small, the fuzzy controller 2 was used for fine tuning to achieve better steady-state accuracy. The double fuzzy PID controller was compared with the traditional PID and the fuzzy PID controller by simulation. The simulation results of Matlab showed that, the double fuzzy PID controller had the advantages of fast regulation speed, strong robustness and small overshoot, and it could effectively improve the control accuracy and stability of the control system. The double fuzzy PID controller has strong self-adaptive ability. It can overcome the non-linear and time-varying characteristics of the temperature control system of heat sealing of food packaging machine, and realizes the fast and stable regulation of the heat sealing temperature of the packaging machine. Experiments show that, the temperature deviation of heat sealing is controlled within $\pm 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, which improves the quality of food packaging and the automation level of equipment to a certain extent.

KEY WORDS: food packaging machine; heat-sealing; double fuzzy PID; Matlab

收稿日期: 2018-11-28

基金项目: 西京学院校基金 (XJ170130)

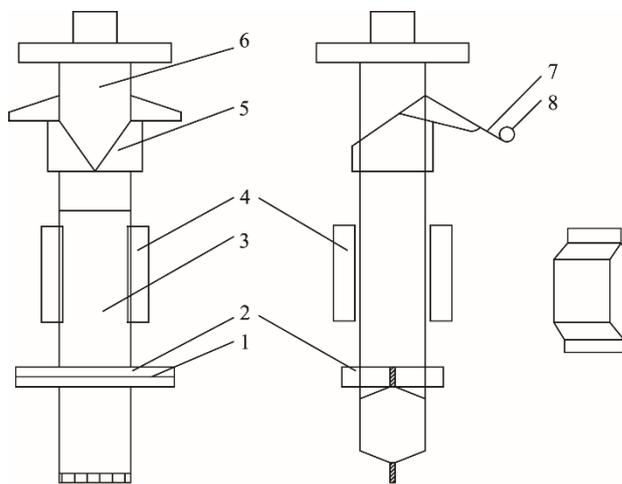
作者简介: 杨娜 (1985—), 女, 硕士生, 西京学院讲师, 主要研究方向为机械设计及其自动化。

随着人们生活质量的不断改善,小袋食品的需求量急剧攀升,且对食品包装的质量提出了更高的要求。然而,在食品包装热封过程中,受到升降速率大、电压波动、热传递惯性及外界干扰等因素的影响,经常出现塑料复合膜烧穿、过度收缩、封口不严及封口开裂等事件,造成封口粗糙、产品外泄等问题,严重影响了产品包装的美观度和包装质量。传统PID控制因参数调整需要操作员反复修改,参数设置过程繁琐,热封温度控制系统的稳定性和控制精度较差。温玉春等人^[1]提出,采用模糊PID控制算法实现PID参数的在线自整定,以提高热封温度控制的响应速度和控制精度。然而,单一的模糊控制受到变量论域、比例因子等参数的限制,不能兼顾热封温度控制系统的响应速度和控制精度。陈明霞等人^[2]使用了一种RBF神经网络对PID参数进行在线整定,然而算法相对较为复杂,实现难度较大。针对传统PID温度控制的缺点,文中提出一种双模糊PID控制方案,将热封温度控制系统分为粗调和精调,分别构建粗调控制器和精调控制器,对PID的3个参数进行在线实时调整,以突破单模糊控制器的局限性。同时,设计模糊选择模块控制器,防止模糊控制器的切换造成热封温度控制系统的震荡和抖动,以实现热封温度的快速调整和精确控制。

1 包装机的工作原理

包装材料的热封是指塑料复合膜在包装机热封装置的作用下达到热熔状态,并在热封压力的作用下使热熔状态的塑料复合膜黏结在一起,冷却后具有一定热封强度的过程^[3]。热封过程见图1。包装材料在供材装置匀速带动下到达翻领成型器,翻领成型为筒状,然后包装材料被送到纵封装置和横封装置,由纵封装置完成包装材料侧面烫边封口,横封装置完成包装材料的封底和上一产品的封顶及切断工作。与此同时,定量称重装置完成食品的称量,包装材料封底完

成后进行食品填充,在牵引力和光标定位的作用下使产品包装顶部到达横封装置,横封装置完成封底和切断工作,至此完成一个产品包装,并进入下一个产品包装循环。



1.切断装置 2.横封装置 3.导管 4.纵封装置 5.翻领成型器 6.成型器导料管 7.包装材料 8.导辊

图1 热封过程
Fig.1 Heat sealing process

2 双模糊PID热封温度控制

2.1 双模糊PID热封温度控制系统

包装机热封温度控制系统具有非线性、时变性和滞后性的特点,难以建立精确的数学模型。模糊控制是基于规则进行输出调节,无需精确数学模型就能克服被控系统的非线性、时变性影响,具有较强的鲁棒性和动态响应能力^[4-6]。针对食品包装机热封温度的控制,设计一种双模糊PID控制器,以包装机热封温度的设定值 r 与测量值 y 的偏差值 e 和偏差变化率 e_c (de/dt)为模糊控制输入量,以PID的3个参数增量 $\Delta K_P, \Delta K_I, \Delta K_D$ 为模糊控制输出量,双模糊PID热封温度控制系统原理见图2。

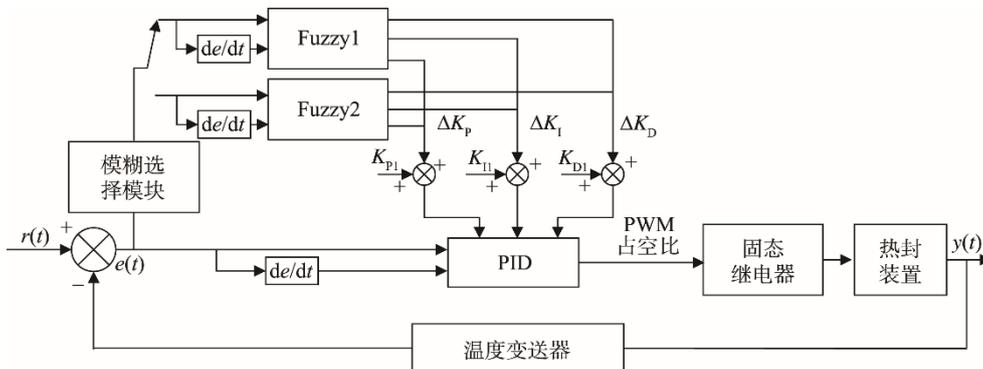


图2 包装机双模糊PID热封温度控制系统

Fig.2 Heat-sealing temperature control system of packaging machine based on double fuzzy PID

如图 2 所示, Fuzzy1(F_1)为粗调控制器, Fuzzy2(F_2)为精调控制器, 依据 e 和 e_c 值进行模糊化、模糊推理、反模糊化获得 $\Delta K_P, \Delta K_I, \Delta K_D$, 调节 PID 的 3 个参数, 构建成双模糊 PID 控制算法, 实现包装机热封温度控制系统的快速、精确调整, PID 控制器过程参数为:

$$\begin{cases} K_P = K_{P1} + \Delta K_P \\ K_I = K_{I1} + \Delta K_I \\ K_D = K_{D1} + \Delta K_D \end{cases} \quad (1)$$

式中: K_P, K_I, K_D 为 PID 控制的过程参数; K_{P1}, K_{I1}, K_{D1} 为 PID 控制的初始整定参数; $\Delta K_P, \Delta K_I, \Delta K_D$ 为 F_1 或 F_2 在线整定获得的 PID 增量参数。

2.2 双模糊控制器的设计

食品包装机热封温度具有时变性和非线性特征, 温度的波动不能预测, 采用单一 Fuzzy 控制进行参数整定具有局限性, 热封温度调节的动态响应速度与调节稳态精度无法兼得, 因此, 采用双模糊控制器整定 PID 控制器增量参数具有较大优势^[7]。通过模糊选择模块对 F_1 和 F_2 进行选择, 当热封温度偏差值较大时,

采用模糊规则较少的 F_1 进行粗调, 加快温度控制系统的动态响应能力, 提升热封效率; 当热封温度偏差值较小时, 采用模糊规则较多的 F_2 进行精调, 防止温度超调, 保证温度控制系统的稳态精度。

分析总结食品包装机热封温度现场控制经验, 以包装机热封温度偏差值 e 等于 ± 10 °C 时为 F_1 和 F_2 的选择分界线, 由于 F_2 为精调控制器, 所以 F_2 的模糊器的语言变量和规则数较多, 故以 F_2 为例进行模糊控制设计。

2.2.1 语言变量

文中采用二输入三输出模糊控制器结构, 以热封温度偏差值 e 和偏差变化率 e_c 为控制器输入变量, 以 PID 参数增量 $\Delta K_P, \Delta K_I, \Delta K_D$ 为控制器输出变量。设定 $e(e_c)$ 模糊论域为 $E(E_C)=[-6, 6]$; 将模糊子集以热封温度偏差划分为 {负大, 负中, 负小, 零, 正小, 正中, 正大} 7 个, 分别用 {NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB} 表示; 量化因子 $K_e=0.6, K_{ec}=0.3$ 。输出变量的模糊论域分别为 $\Delta K_P=[-0.8, 0.8], \Delta K_I=[-0.8, 0.8], \Delta K_D=[-5, 5]$, F_2 的模糊器的相关参数见表 1。

表 1 F_2 控制器相关参数
Tab.1 Related parameters of F_2 controller

变量	e	e_c	ΔK_P	ΔK_I	ΔK_D
语言变量	E	E_C	ΔK_P	ΔK_I	ΔK_D
基本论域	$[-10, 10]$	$[-20, 20]$	$[-1, 1]$	$[-2, 2]$	$[-10, 10]$
模糊子集	{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB}				
模糊论域	$[-6, 6]$	$[-6, 6]$	$[-0.8, 0.8]$	$[-0.8, 0.8]$	$[-5, 5]$
量化因子	0.6	0.3	0.8	0.4	0.5
隶属度函数	三角形				

2.2.2 隶属度函数

为达到包装机热封温度稳定、精确控制的效果, F_2 的语言变量采用敏捷度高的三角形隶属函数, 以提高温度控制精度, 同时调整三角行函数的覆盖程度以获得较好的稳定性, 以输入变量偏差 E 的隶属度函数为例, 见图 3。

2.2.3 建立模糊规则

模糊规则是模糊控制器的核心环节, 模糊规则的覆盖面和正确性是决定模糊控制效果的关键^[8]。依据包装机操作工程师经验和专家知识, 计算每条控制规则对包装机热封温度的影响, 将所有控制规则叠加后获得 F_2 的 49 条控制规则, 见表 2。

依据上述 F_2 的设计过程来设计包装机热封温度粗调模糊控制器 F_1 , 其要求温度控制系统具有较好的动态响应能力, 以较快的速度缩小包装机热封温度偏差值。当包装机热封偏差温度在 $[-10, 10]$ 之外时, 将

F_1 的输入输出语言变量模糊论域设为 $[-3, 3]$, 模糊子集设为 {NB, NS, PS, PB}, 通过专家知识和经验分析总结获得 F_1 的模糊器的模糊控制规则, 见表 3。

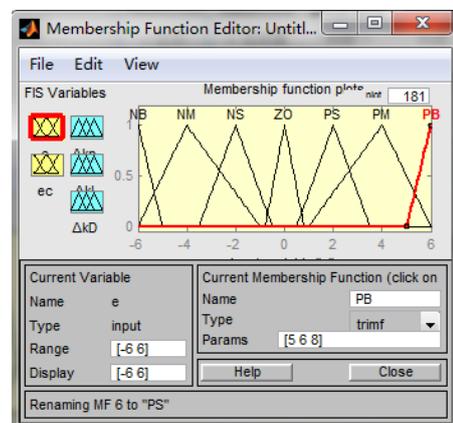


图 3 输入变量偏差 E 的隶属度函数
Fig.3 Membership function of input variable deviation E

表2 F₂控制规则
Tab.2 F₂ control rule

<i>e</i>	<i>e_c</i>						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB/NB/NB	PB/NB/NB	PM/NM/NM	PM/NM/NS	PS/NM/NS	PS/NS/NS	PS/ZO/ZO
NM	PB/NM/NM	PM/NM/NS	PM/NS/NS	PM/NS/NS	PS/NS/NS	NS/ZO/ZO	NS/PS/PS
NS	PM/NM/NB	PM/NSNB	PS/NS/NS	PS/NS/NS	ZO/ZOZO	NS/PS/PS	NS/PS/PS
ZO	PS/NS/NM	PS/NS/NM	ZO/NS/NS	ZO/ZO/ZO	NS/PS/PS	NS/PS/PS	NM/PM /PS
PS	NS/PS/NM	NS/PS/NM	NS/PS/NS	NS/PS/NS	NS/PS/PS	NM/PS/PS	NM/PM/PM
PM	NM/PS/NS	NM/PS/ZO	NM/PS/PS	NM/PM/PS	NM/PM/PM	NM/PM/PM	NB/PM/PM
PB	NM/PS/PS	NM/ZO/PS	NM/PM/PS	NM/PM/PS	NM/PM/PM	NM/PM/PB	NB/PB/PB

表3 F₁控制规则
Tab.3 F₁ control rule

<i>e</i>	<i>e_c</i>			
	NB	NS	PS	PB
NB	PB/NM/NB	PM/NS/NM	PM/NS/NS	PS/PS/PS
NS	PM/NM/NM	PS/NS/NS	PS/NS/NS	NS/PM /PS
PS	NS/NS/NM	NS/PS/NM	NS/PS/NS	NS/PM /PS
PB	NM/PS/PS	NM/PM/PS	NM/PM/PS	NB/PB/PB

2.3 模糊选择模块设计

为达到 F₁ 和 F₂ 的合理性、科学性选择，防止模糊控制器的切换造成热封温度控制系统的震荡和抖动，依据专家知识建立模糊选择模块的模糊控制器，实现温度控制系统的快速、稳定及精确控制^[9-10]。模糊选择模块的模糊控制规则如下。

1) 当|*e*|较大时，为快速消除热封温度偏差值，选择响应速度较快的粗调控制器 F₁。

2) 当|*e*|不是很大，且 *e_c* 与 *e* 同号时，热封温度的检测值向远离温度设定值方向扩大，为抑制|*e*|继续变大，选择粗调控制器 F₁；当|*e*|不是很大，且 *e_c* 与 *e* 异号时，热封温度的检测值向靠近温度设定值方向缩小，为防止热封温度控制系统超调，提高稳态精度，选择精调控制器 F₂。

3) 当|*e*|较小时，为实现包装机热封温度的稳定性和控制精度，选择精调控制器 F₂ 对 PID 控制器增量参数进行调节^[11]。

F₁ 和 F₂ 控制器建立过程相似，以 *e_c* 和 *e* 为模糊选择模块的模糊控制输入变量，模糊子集为 {NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB}；以 *u* 输出变量，模糊子集为 {F₁, F₂}，则模糊选择模块的控制规则见表 4。

3 包装机热封温度仿真分析

3.1 系统传递函数

根据能量守恒定理可知，热封切刀产生的能量 *Q* 等

表4 模糊选择模块的控制规则
Tab.4 Control rule of fuzzy selection module

<i>e</i>	<i>e_c</i>						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	F ₁	F ₁	F ₁	F ₁	F ₁	F ₁	F ₁
NM	F ₁	F ₁	F ₁	F ₂	F ₂	F ₂	F ₂
NS	F ₁	F ₁	F ₂				
ZO	F ₂	F ₂	F ₂	F ₂	F ₂	F ₂	F ₂
PS	F ₂	F ₂	F ₂	F ₂	F ₂	F ₂	F ₁
PM	F ₁	F ₂	F ₁	F ₂	F ₁	F ₁	F ₁
PB	F ₁	F ₁	F ₁	F ₁	F ₁	F ₁	F ₁

于塑料熔化吸收热量 *Q*₁ 和自然散失热量 *Q*₂ 之和，则：

$$Q = Q_1 + Q_2 \tag{2}$$

$$Q = mC dT/dt + hA(T - T_0) \tag{3}$$

式中：*C* 为切刀比热容；*T* 为切刀温度；*T*₀ 为外部温度；*h* 为散热吸收；*A* 为切刀表面积；*t* 为加热时间；*m* 为切刀质量。在平衡点(*Q*₀, *u*₀) 附近线性化得^[12-13]：

$$K_u = \Delta Q_i / \Delta u \tag{4}$$

将式(4)转化为微分方程：

$$\frac{mC d\Delta T}{hA dt} = \Delta T + \frac{K_u \Delta u}{hA} \tag{5}$$

对式(5)进行 Laplace 变换可得：

$$G(s) = \frac{\Delta T(s)}{\Delta U(s)} = \frac{K_u}{hA(1 + \frac{mC}{hA}s)} = \frac{K}{1 + T_0 s} \tag{6}$$

式中： ΔT 是切刀温度变化； $T_0 = mC/hA$ ， $K = K_u/hA$ 。由于温度传递存在滞后，设热封温度控制系统滞后时间为 τ ，则：

$$G(s) = \frac{K}{1 + T_0 s} e^{-\tau s} \quad (7)$$

在热封装置达到稳定状态时，对热封装置添加一个阶跃电压信号，检测热封装置温度变化情况并记录温度数据，利用阶跃响应曲线法获取传递函数参数模型^[14]：

$$G(s) = \frac{5.7}{1 + 410s} e^{-20s} \quad (8)$$

3.2 热封温度控制系统仿真研究

为验证双模糊 PID 热封温度控制器的有效性，借助 Matlab 软件对双模糊 PID 控制器、模糊 PID 控制器及传统 PID 控制器进行仿真对比分析，3 个控制系统的初始 PID 参数 K_P ， K_I ， K_D 分别设置为 1.537，0.257，0.156。3 种控制器的性能对比曲线见图 4，PID、模糊 PID、双模糊 PID 的一次超调量分别约为 11.2%，4.9%，0.1%；达到稳态所需时间分别约为 120，90，45 s。可以明显看出，双模糊 PID 控制器的控制性能明显优于模糊 PID 控制和 PID 控制。

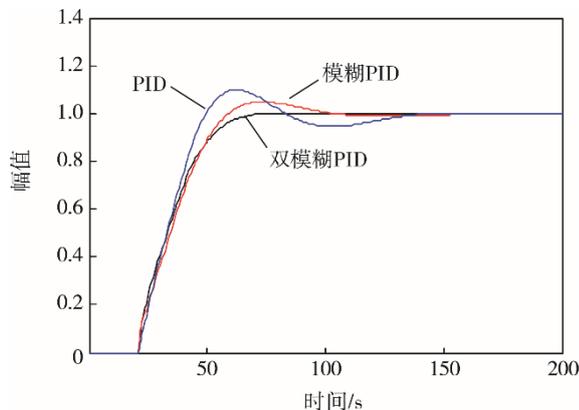


图 4 3 种控制器的性能对比曲线

Fig.4 Performance comparison curves of three controllers

考虑到热封温度控制系统具有非线性和时变性特征，在 $t=125$ s 时添加 0.1 的阶跃干扰量，以验证温度控制系统的抗干扰鲁棒性，3 种控制器抗干扰鲁棒性对比曲线见图 5^[15-16]。可见 3 种控制器的二次超调量分别约为 7.1%，3.2%，0.8%，二次达到稳态所需时间分别约为 35，15，5 s。将包装机热封温度传递函数模型的参数 T 和 K 同时增加 10% 验证模型失配鲁棒性，3 种控制器抗模型失配鲁棒性对比曲线见图 6。可见 3 种控制器的一次超调量分别约为 16.5%，7.2%，0.15%，相比模型失配前分别增加约为 5.3%，1.3%，0.05%；模型失配后二次超调量约为 8.8%，3.6%，0.9%，相比模型失配前分别增加约为 1.7%，0.4%，0.1%。无论是一次达到稳定还是二次达

到稳定，所需时间均比模型失配前有所增加，但双模糊 PID 控制器的增加量最少。

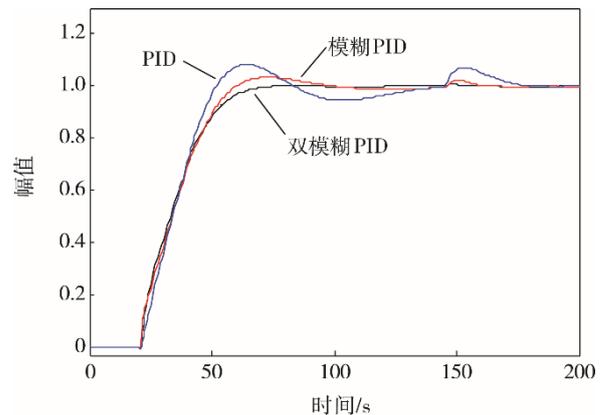


图 5 3 种控制器抗干扰鲁棒性对比曲线

Fig.5 Curves of comparison of three controllers' robustness against interference

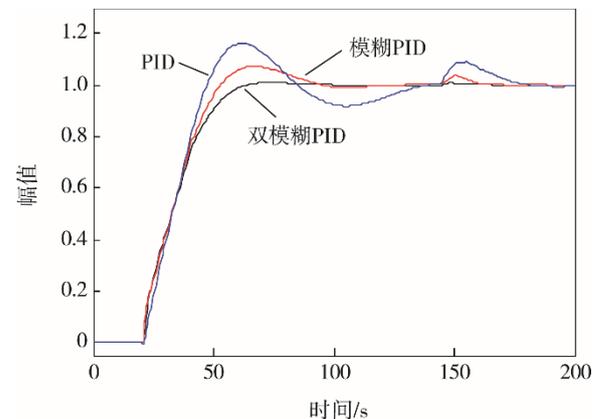


图 6 3 种控制器抗模型失配鲁棒性对比曲线

Fig.6 Curves of comparison of three controllers' robustness against model mismatch

可以看出，传统 PID 控制器的抗干扰鲁棒性和模型失配鲁棒性较差，模糊 PID 控制器居中，双模糊 PID 控制器最好。双模糊 PID 控制器在非线性和时变性控制系统中应用，具有较好的可行性和优越性。

4 实验分析

为验证所述食品包装机热封温度控制的有效性，选用 DXDK160B 立式包装机为实验设备，以聚乙烯（厚 0.08 mm）薄膜为包装材料进行相关实验。分别采用传统 PID 控制、模糊 PID 控制、双模糊 PID 控制对包装机热封温度进行控制，设定热封温度为 150 °C，每隔 5 s 读取一次包装机热封温度检测值并进行记录，见图 7。为了更清晰地查看双模糊 PID 控制下热封温度的变化，将图 7 中双模糊 PID 热封温度折线放大，见图 8。

由图 7 可知，采用双模糊 PID 控制时的热封温度偏差波动范围明显小于模糊 PID 控制和传统 PID 控

制,表明双模糊 PID 热封温度控制系统具有较好的稳定性。由图 8 可知,当设定目标温度为 150℃时,热封温度值区间约为 185.5~151.5℃,则温度偏差值约为±1.5℃,表明双模糊 PID 热封温度控制系统具有较好的精确性。

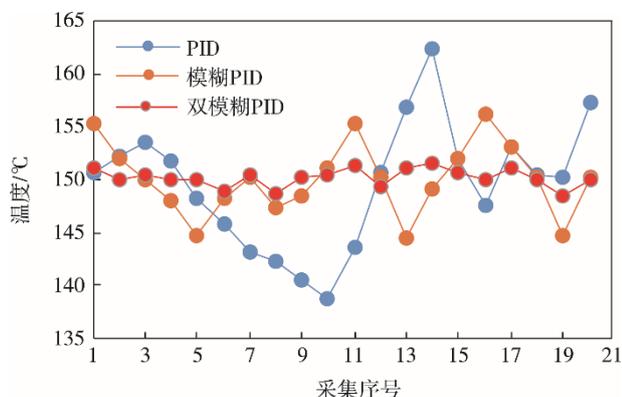


图 7 3 种控制器的热封温度检测数据对比

Fig.7 Comparison of heat-sealing temperature measurement data of three controllers

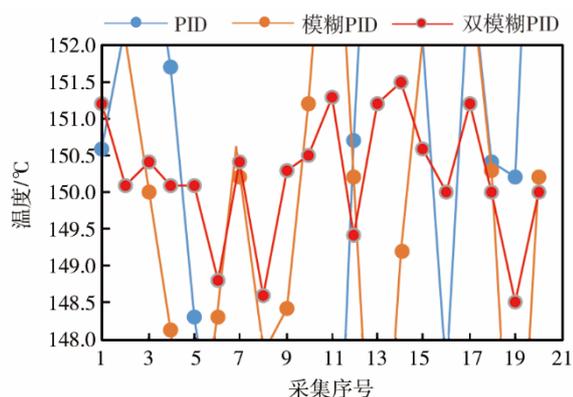


图 8 双模糊 PID 热封温度检测数据

Fig.8 Heat-sealing temperature measurement data based on double fuzzy PID

5 结语

针对食品包装机热封过程进行分析,将模糊控制算法应用于包装机热封温度控制系统,采用双模糊 PID 控制算法解决包装机热封过程的质量问题,分别设计 F_1 和 F_2 对 PID 参数在线整定,实现热封温度控制系统的粗调和精调。利用 Matlab 软件对双模糊 PID 控制器、模糊 PID、传统 PID 3 种控制器的控制效果、抗干扰鲁棒性、模型失配鲁棒性进行了仿真对比分析,结果表明双模糊 PID 控制具较好的控制效果和鲁棒性。实验验证表明,双模糊 PID 包装机热封温度控制系统温度偏差约为±1.5℃,能够有效提高包装材料热封温度控制的精度和稳定性。

参考文献:

[1] 温玉春,刘祺君. 基于模糊 PID 的包装机热封切刀

温度控制[J]. 包装工程, 2017, 38(3): 109—113.

WEN Yu-chun, LIU Qi-jun. Temperature Control of Heat-sealing Cutter of Packaging Machines Based on Fuzzy PID[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(3): 109—113.

[2] 陈明霞,张寒,郑谊峰. 基于 RBF 神经网络的自动包装机温度控制算法研究[J]. 包装工程, 2018, 39(19): 150—156.

CHEN Ming-xia, ZHANG Han, ZHENG Yi-feng. Temperature Control of Automatic Packaging Machine Based on RBF Neural Network[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(19): 150—156.

[3] 康瑞芳,刘鑫. 基于 DSP 全自动食品包装机控制系统设计[J]. 控制工程, 2017, 24(2): 336—340.

KANG Rui-fang, LIU Xin. Motion Analysis and Control System Design for Automation Packaging Machine[J]. Control Engineering of China, 2017, 24(2): 336—340.

[4] 肖艳军,王永庚,井然,等. 基于模糊 PID 的罗茨动力机控制系统研究与仿真[J]. 系统仿真学报, 2018, 30(6): 2198—2205.

XIAO Yan-jun, WANG Yong-geng, JING Ran, et al. Research and Simulation of Roots-type Power Machine Control System Based on Fuzzy PID[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(6): 2198—2205.

[5] 潘玉成,林高飞,陈小利,等. 基于模糊专家控制的茶叶炒制温度控制系统[J]. 食品与机械, 2016, 32(11): 79—84.

PAN Yu-cheng, LIN Gao-fei, CHEN Xiao-li, et al. Tea Frying Temperature Control System Based on Fuzzy Expert Control[J]. Food & Machinery, 2016, 32(11): 79—84.

[6] 刘汉忠,俞鹏. 模糊 PID 自适应控制在微型齿轮泵恒流控制系统中的应用[J]. 流体机械, 2018, 46(12): 50—53.

LIU Han-zhong, YU Peng. Application of Fuzzy-PID Adaptive Control in Constant Current Control System of Micro Gear Pump[J]. Fluid Machinery, 2018, 46(12): 50—53.

[7] 袁知文,董秀成,夏焰坤,等. 双模糊自适应 PI 的 DPC 在 APF 中的应用[J]. 电力系统及其自动化学报, 2018, 30(5): 38—42.

YUAN Zhi-wen, DONG Xiu-cheng, XIA Yan-kun, et al. Application of DPC of Double Fuzzy Adaptive PI to APF[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2018, 30(5): 38—42.

[8] 曹成茂,吴正敏,梁闪闪,等. 茶叶杀青机双模糊控制系统设计与实验[J]. 农业机械学报, 2016, 47(7): 259—265.

CAO Cheng-mao, WU Zheng-min, LANG Shan-shan, et al. Design and Experiment of Double Fuzzy Control System for Tea Cylinder Water-removing Machine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(7): 259—265.

- [9] 彭辉, 王军政, 沈伟, 等. 带补偿因子的双模糊控制在电液伺服阀控非对称缸系统上的应用研究[J]. 机械工程学报, 2017, 53(24): 184—192.
PENG Hui, WANG Jun-zheng, SHEN Wei, et al. Double Fuzzy Control with Compensating Factor for Electronic-hydraulic Servovalve-controlled System[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2017, 53(24): 184—192.
- [10] LI Xin-guo, ZHENG Zeng-lang. The Application of PLC in the Automatic Packing Machine Control System[J]. Advanced Materials Research, 2012(3): 48—50.
- [11] 王磐, 洪苑乾, 黄汉英, 等. 基于PLC的模糊PID控制器在热封干燥箱上的应用[J]. 食品与机械, 2016, 32(12): 100—104.
WANG Pan, HONG Yuan-qian, HUANG Han-ying, et al. Fuzzy PID Controller Based on PLC and Application on Hot Air Drying Chamber[J]. Food & Machinery, 2016, 32(12): 100—104.
- [12] 薛雷, 孙以泽, 李培兴, 等. 基于模糊PID的裤袜包装机热封切刀温度控制的研究[J]. 包装工程, 2013, 34(3): 16—21.
XUE Lei, SUN Yi-ze, LI Pei-xing, et al. Research on Temperature Control of Heat-sealing Cutting Knife of Panty-hose Packaging Machine Based on Fuzzy-PID[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(3): 16—20.
- [13] 彭博, 钟飞. 基于模糊PID控制的粉末包装计量控制系统[J]. 包装工程, 2017, 38(5): 1—6.
PENG Bo, ZHONG Fei. Powder Packaging Metering Control System Based on Fuzzy PID Control[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(5): 1—6.
- [14] 马晓宇. 自动包装机热封温度自适应控制系统设计[J]. 包装工程, 2016, 37(21): 173—178.
MA Xiao-yu. Design of Temperature Adaptive Control System for Heating Sealing Mechanism of Automatic Packaging Machine[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(21): 173—178.
- [15] 邓顺, 周康渠. 基于DSP的焊接机器人控制算法研究与仿真设计[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2017, 34(1): 87—93.
DENG Shun, ZHOU Kang-qu. Research and Simulation of Control Algorithm Design of Welding Robot Based on DSP[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2017, 34(1): 87—93.
- [16] 李鑫, 张煜星, 高博. 基于S7-1200PLC的啤酒发酵温度控制系统研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(11): 79—84.
LI Xin, ZHANG Yu-xing, GAO Bo. Research on Temperature Control System of Beer Fermentation Based on S7-1200PLC[J]. Food & Machinery, 2016, 32(11): 79—84.