

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.02.015

基于双模糊补偿注塑机料筒多区间温度解耦控制

胡亚南¹, 王鹏文¹, 杨娜¹, 李明辉²

(1. 西京学院, 西安 710000; 2. 陕西科技大学, 西安 710000)

摘要: 针对注塑机料筒多区间温度场的相互耦合影响,造成料筒温度震荡和稳定性差的问题,设计双模糊补偿 PID 控制策略,以提升料筒区间温度控制的稳定性和精确性。将料筒区间温度的耦合影响作为系统扰动,利用模糊补偿控制进行补偿调节,消除耦合影响误差;以 SIEMENS CPU315-2PN/DP 为硬件控制器,在 STEP7 软件中设计并实现料筒温度控制程序;利用 Simulink 软件对双模糊补偿 PID 控制算法和模糊 PID 控制算法进行控制器性能、耦合影响、鲁棒性仿真对比。结果表明,双模糊补偿 PID 控制能够很好地完成料筒区间温度解耦,提高温度控制的稳定性和精确性。

关键词: 多区间;解耦;模糊补偿;注塑机

中图分类号: TQ320.63 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)02-0077-05

Multi Interval Temperature Decoupling Control of Injection Molding Machine Barrel based on Double Fuzzy Control Compensation

Hu Yanan¹, Wang Pengwen¹, Yang Na¹, Li Minghui²

(1.Xijing University, Xi'an 710000, China; 2.Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710000, China)

Abstract : In order to solve the problem of temperature oscillation and poor stability caused by the coupling of multi range temperature field in the barrel of injection molding machine, a double fuzzy compensation PID control strategy was designed to improve the stability and accuracy of the temperature control in the barrel range. The coupling effect of the temperature between the barrels was regarded as the system disturbance, and then the fuzzy compensation control was used to compensate and adjust, so as to eliminate the coupling effect error. Taking Siemens SIEMENS CPU315-2PN/DP as the hardware controller, the temperature control program of the barrel was designed and implemented in STEP7 software. The performance, coupling effect and robustness of the double fuzzy compensation PID control algorithm and the fuzzy PID control algorithm were simulated and compared by using Simulink software. The results show that the double fuzzy compensation PID control can achieve the temperature decoupling between the barrels and improve the stability and accuracy of the temperature control.

Keywords : multiple intervals ; decoupling ; fuzzy compensation ; injection molding machine

注塑机料筒是塑料件成型加工过程中原料熔融的场所,也是注塑加工中电热与传动控制精度要求最为严苛的环节。料筒内部温度场按工艺要求划为 3~5 个区间,且不同种类塑料的各区间的最佳工艺温度不同,所以实现料筒各区间温度精确控制是保证塑料件质量的重要前提^[1]。料筒温度一般采用多个单回路 PID 独立控制实现料筒各区间温度场的分布控制,但料筒温度受到摩擦生热、电压波动、

原料质量及相邻区间热量传递的影响,使料筒温度控制系统存在非线性、滞后性、耦合性的特征,传统 PID 控制已无法满足市场需求。为提高料筒温度的控制效果,学者们将智能控制算法应用于料筒温度控制以克服控制系统的上述特征影响且获得了较好的效果,但是对料筒温度区间的耦合作用研究较少且没有得到较好的解决^[2]。李飞等^[3]针对煤气混合过程热值与压力值间的耦合影响,设计模糊补偿

基金项目: 陕西省重点研发计划项目(2018GY-042),西京学院科研基金项目(XJ170129)

通讯作者: 胡亚南,讲师,硕士,主要研究方向为模具设计、过程自动化及智能控制 E-mail: 2664961273@qq.com

收稿日期: 2019-11-11

引用格式: 胡亚南,王鹏文,杨娜,等. 基于双模糊补偿注塑机料筒多区间温度解耦控制[J]. 工程塑料应用,2020,48(2): 77-81.

Hu Yanan, Wang Pengwen, Yang Na, et al. Multi interval temperature decoupling control of injection molding machine barrel based on double fuzzy control compensation[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(2): 77-81.

解耦控制器,实现了混合煤气热值与压力的解耦,获得较好的控制效果;闻晶^[4]针对温室环境中温度和湿度的耦合作用,设计模糊控制与模糊补偿的控制方法,很好地解决了大滞后和强耦合的问题。为实现料筒区间温度解耦,设计模糊PID与模糊补偿相结合的双模糊补偿PID控制算法,将温度耦合影响作为系统扰动进行模糊补偿调节,成功地将料筒多区间温度解耦成单变量,然后利用模糊PID进行主调节,以提高温度控制系统的精确性和稳定性。

1 料筒温度控制原理

注射成型过程包括加料、塑化、合模、注射、保压、冷却、脱模等工序,料筒温度控制系统的精确性和稳定性直接影响塑料件的质量。图1为料筒温度控制原理。依据工艺要求在料筒外壁包裹3区间独立加热丝将料筒温度区间划分为固体输送区间(A区间)、压缩区间(B区间)和计量区间(C区间)^[5]。料筒区间温度控制原理:安装在料筒外壁的测温元件获取料筒温度数据,温度传感器将温度数据转化为4~20 mA电流信号传输给控制系统模拟量输入模块(SM331);S7-300PLC通过背板总线与SM331进行数据交换,S7-300PLC对温度检测值和温度设定值进行逻辑运算获得固态继电器(SSR)的导通与截止比率,数字量输出模块(SM322)输出控制指令调整施加在加热丝上的功率,以实现注塑机料筒温度的精确控制。另外,SSR具有信号隔离功能,可实现强电(加热丝电源)和弱电(控制器电源)隔离,提高系统的抗干扰能力。

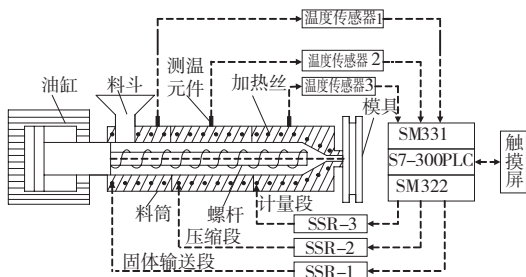


图1 料筒温度控制原理

2 料筒温度控制系统数学模型

按照工艺要求,注塑机料筒温度控制系统划分为多区间,则该系统属于MIMO系统,但当各区间温度达到稳定状态瞬间可认定系统不存在耦合关系^[6]。为获取注塑机料筒温度控制系统数学模型,当料筒温度各区间达到稳定状态时进行小范围升温实验,采用阶跃响应法计算出料筒区间温度控制系统模型参数。具体过程为:当注塑机料筒A区间、

B区间、C区间温度分别稳定在180,200,210℃时,使A区间温度升到200℃(升温20℃),B区间、C区间温度不调整,每隔2秒对三个温度区间的温度数据进行记录,最终将获得的数据拟合出A区间、B区间、C区间温度区间的3条阶跃响应曲线;仿照上述方法对B区间、C区间温度区间进行实验,获取6条阶跃响应曲线并求取模型参数。利用阶跃响应法对9条阶跃响应曲线分别求取模型的时间常数(T),对象增益(K),滞后时间(τ),各模型参数见表1。

表1 料筒温度控制系统模型T,K,τ参数

区间	A区间	B区间	C区间
A区间	1.785 / 70.3 / 1	1.009 / 132.5 / 2	0.406 / 168.1 / 3
B区间	1.101 / 127.8 / 2	1.501 / 83.6 / 1	0.751 / 86.2 / 2
C区间	0.589 / 138.2 / 3	0.912 / 143.6 / 2	1.101 / 63.4 / 1

依据表1参数数据可获得注塑机料筒温度控制系统数学模型为:

$$G(s) = \begin{bmatrix} \frac{1.785e^{-s}}{70.3s+1} & \frac{1.009e^{-2s}}{132.5s+1} & \frac{0.406e^{-3s}}{168.1s+1} \\ \frac{1.101e^{-2s}}{127.8s+1} & \frac{1.501e^{-s}}{83.6s+1} & \frac{0.751e^{-2s}}{86.2s+1} \\ \frac{0.589e^{-3s}}{138.2s+1} & \frac{0.912e^{-2s}}{143.6s+1} & \frac{1.101e^{-s}}{63.4s+1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: e ——拉氏变换滞后因子;

s ——拉氏变换因子。

3 双模糊补偿的注塑机料筒温度控制

3.1 双模糊补偿料筒温度控制系统

图2为注塑机料筒温度控制系统。为解决料筒温度控制区间耦合性问题,笔者对料筒温度每个区间分别设计1个主控制器(模糊PID控制器)和2个解耦补偿器(模糊控制器),每个模糊补偿器只进行单通道的解耦补偿,故无需考虑模糊补偿器间的耦合影响。注塑机料筒温度控制系统,在6个解耦补偿器进行解耦补偿的作用下,料筒温度控制区间被解耦成独立的目标函数,然后利用3个模糊PID控制器的闭环调节作用,使注塑机料筒温度控制系统具有较好的鲁棒性和解耦效果。

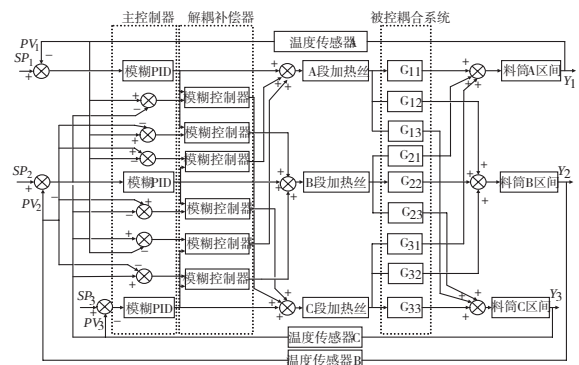


图2 注塑机料筒温度控制系统

3.2 模糊 PID 主控制器设计

主控制器是注塑机料筒温度控制系统的核心控制器,其依据料筒区间检测温度与设定温度的误差对系统进行闭环调节,要求具有响应速度快、鲁棒性强、稳定性好的特点。模糊控制以模糊规则为基础,对非线性、时变性控制系统具有较好的适应性^[7]。PID 控制具有动态响应快、算法成熟、易实现的优点,结合模糊控制和 PID 控制的优点,利用模糊控制器对 PID 参数进行在线增量调节,设计模糊 PID 控制器作为料筒温度控制系统的主控制器,图 3 为模糊 PID 主控制器原理图。

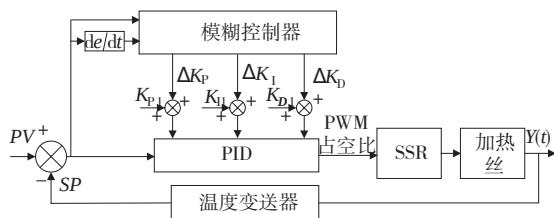


图3 模糊 PID 主控制器原理图

由图 3 可见,模糊控制器采用二维三输出结构,以料筒区间温度偏差 e 和误差变化率 ec 为模糊输入量, $e(ec)$ 的变量论域为 $[-4, 4]$, 对应的模糊子集为 7 个: NB(负大)、NM(负中)、NS(负小)、ZO(零)、PS(正小)、PM(正中)、PB(正大); 以 ΔK_p , ΔK_i , ΔK_d 为模糊输出量,其论域范围分别为 $\Delta K_p \in [-2, 2]$, $\Delta K_i \in [-0.5, 0.5]$, $\Delta K_d \in [-0.5, 0.5]$, 模糊子集与模糊输入变量相同; 模糊输入输出量隶属度函数均为灵敏度高的三角形隶属度函数且均采用 Mamdani 推理。依据操作经验、实验分析及工艺要求,设计模糊控制规则表。利用 MATLAB 软件 FIS Editor 建立模糊控制器,通过模糊规则观测器获得模糊控制查询表见表 2。

3.3 模糊补偿器设计

料筒温度模糊补偿器解耦的实质是在主控制器输出结果的基础上,添加合适的补偿量,最大程度

表 2 ΔK_p , ΔK_i , ΔK_d 模糊控制规则查询表

温度偏差 误差 (E)	控制输出 量 (U)	温度偏差误差变化率 (EC)								
		-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
-4	ΔK_p	1.829	1.804	1.382	1.212	1.201	0.572	0.501	0.072	-0.024
	ΔK_i	-0.491	-0.456	-0.369	-0.315	-0.306	-0.175	-0.092	-0.064	-0.011
	ΔK_d	0.095	-0.054	-0.161	-0.188	-0.188	-0.178	-0.166	-0.184	-0.186
-3	ΔK_p	1.792	1.772	1.281	0.940	0.936	0.556	0.548	0.036	-0.432
	ΔK_i	-0.488	-0.451	-0.328	-0.216	-0.188	-0.125	-0.058	-0.019	0.055
	ΔK_d	0.098	-0.096	-0.142	-0.127	-0.115	-0.097	-0.035	-0.016	-0.098
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
3	ΔK_p	0.744	0.431	-0.376	-0.804	-0.732	-1.141	-1.224	-1.728	-1.784
	ΔK_i	0.137	-0.057	-0.226	-0.288	-0.344	-0.328	-0.299	-0.397	-0.497
	ΔK_d	-0.299	-0.268	-0.236	-0.189	-0.183	-0.175	-0.132	-0.094	0.105
4	ΔK_p	0.792	0.668	0.312	-0.676	-1.192	-1.496	-1.608	-1.912	-1.915
	ΔK_i	0.179	0.084	0.057	-0.058	-0.188	-0.295	-0.345	-0.468	-0.486
	ΔK_d	-0.397	-0.290	-0.264	-0.228	-0.187	-0.114	-0.108	0.028	1.037

地消除或削弱相邻温度场对当前温度控制区间的耦合作用,从而实现料筒区间温度控制只受区间加热丝功率控制的目的^[8]。笔者采用模糊控制器进行系统解耦,依据注塑机料筒多区间温度控制的工艺要求及各区间温度控制的耦合关系,结合专业知识和操作经验设计料筒温度区间的模糊补偿器,以料筒区间主控制器的输出 $U_{ki}(k=a,b,c)$ 和耦合关系的料筒区间温度差 $e_{ij}(i=a,b,c, j=a,b,c, i \neq j)$ 作为模糊控制器的输入量,利用模糊推理的方式获取模糊补偿控制输出量 $U_{nk}(n=a,b,c, n \neq k)$,以抵消料筒区间相互耦合的影响,达到解耦的效果。

以料筒 B 区间对 A 区间的温度解耦为例,设计注塑机料筒温度模糊补偿器:(1)以 A 区间系统主控制器输出 U_{a1} 和 B 区间对 A 区间的温度差 e_{ba} 为

二维解耦补偿器的输入量,以补偿量 U_{ba} 为输出量。(2)对 U_{a1} , e_{ba} 和 U_{ba} 模糊化处理, $U_{a1}(e_{ba})$ 的论域范围为 $[-4, 4]$, U_{ba} 论域范围为 $[-4, 4]$, 输入输出模糊子集均为: NB(负大)、NS(负小)、ZO(零)、PS(正小)、PB(正大),隶属度函数为三角形隶属度函数。(3)采用 IF-AND-THEN 形式总结和描述模糊补偿规则,共计 25 条;例如当 U_{a1} 输出反向变大且 B 区间温度远低于 A 区间温度,需要增加 A 区间加热丝功率以抵消耦合影响,则 U_{ba} 值应为正大,规则为 IF $U_{a1}=NB$ AND $E_{ba}=NB$ THEN $U_{ba}=PB$ 。依据经验可编写 U_{ba} 的模糊控制规则表见表 3。

按照上述料筒 B 区间对 A 区间的模糊补偿器的设计思想,分别设计其余 5 个料筒温度模糊补偿器,以实现料筒温度区间的解耦。在 FIS Editor 中

建立模糊补偿器,通过模糊规则观测器获得模糊控制查询表,为模糊补偿器在 STEP7 软件系统中实现奠定基础。

表 3 U_{ba} 的模糊控制规则表

U_{a1}	E_{ba}				
	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	PB	PB	PS	PS	NS
NS	PB	PS	ZO	ZO	NS
ZO	PS	ZO	ZO	ZO	NS
PS	PS	NS	ZO	NS	NB
PB	NS	NS	NB	NB	NB

4 注塑机温度控制系统设计

4.1 硬件选型

CPU 是注塑机 DCS 控制系统的核心,其接收注塑机上的传感器信号、开关信号,依据控制工艺流程和要求完成相应动作输出和触摸屏信号交换实现远程分布式控制^[9]。通过对系统 I/O 点估算,注塑机控制系统属于小型控制系统,故选用 SIEMENS CPU315-2PN/DP 控制器即可实现较好的控制性能,温度传感器将检测的信号实时传输给 CPU315-2PN/DP 构成闭环控制,综合工艺要求、控制精度及经济成本,对注塑机温度控制系统硬件选型见表 4。

表 4 硬件选型

序号	硬件名称	硬件参数	硬件型号	数量
1	CPU315-2PN/DP	348K,16384DI/DO,1024AI/AO	6ES7315-2EH14-0AB0	1
2	DIN 导轨	530 mm	6ES7390-1AF30-0AA0	1
3	DI 模块	32 DI,24 V DC	6ES7321-1BL00-4AA1	1
4	DO 模块	32DO,24 VDC	6ES7322-1BL00-4AA1	1
5	AI 模块	16AI,14 位	6ES7331-1KF02-4AB1	2
6	AO 模块	4AO,14 位	6ES7332-5HD01-4AB1	2
7	HMI	KP400 Basic, PN	6AV6447-0AA11-3AX0	1
8	PS307	5A	6ES7307-1EA01-0AA0	1
9	温度传感器	K 型热电偶	WRE-206S	6
10	加热垫圈	220 V350W	Ø35 × 60	6
11	固态继电器	AC 20-240 V 5A	GJ5-WD	6

4.2 料筒温度控制程序设计

注塑机控制系统以 WinCC 实现上位机人机界面搭建、以 STEP7 实现下位机程序设计,程序采用模块化设计,主要由初始化程序、模糊化程序、查询程序、PID 程序等组成^[10]。以料筒 A 区间温度控制为例,首先温控系统进行初始化,然后经触摸屏输入

料筒 A 区间温度设定值(存储在 DB490),CPU315-2PN/DP 获取料筒检测温度存储在 DB492 并与 DB490 数据进行逻辑运算,将偏差 e 、偏差变化率 ec 分别存储在 DB590, DB592 中,若 DB590 数值不为零,则将 DB590, DB592 数据传输到模糊化程序;将模糊查询表的 ΔK_p 乘以系数 100 转化为整数,然后用 PLC 的 MOV 指令将 ΔK_p 值由左到右、由上到下的次序存储到 DB1000~DB1080 中,同理将 ΔK_i 和 ΔK_d 值存储到 DB1100~DB1180 和 DB1200~DB1280 中,利用比较指令依据 DB590、DB592 数据,通过基址+偏移地址的寻址方式获取 ΔK_p , ΔK_i , ΔK_d 的值并存储于 DB474~DB478;利用求和指令将 PID 增量参数与初始参数数据叠加传输到 PID 程序,将 PID 输出存储到 DB468。将 e_{ba} , e_{ca} 存储在 DB414, DB416, 模糊补偿量调用 DB468, DB414, DB416 数据以类似主控制器方式获取耦合补偿值,与 PID 控制输出合并后传输给 PLC, PLC 调整 SSR 导通与截止比率实现加热线圈功率的改变,最终实现注塑机料筒温度精确控制,控制流程如图 4 所示。

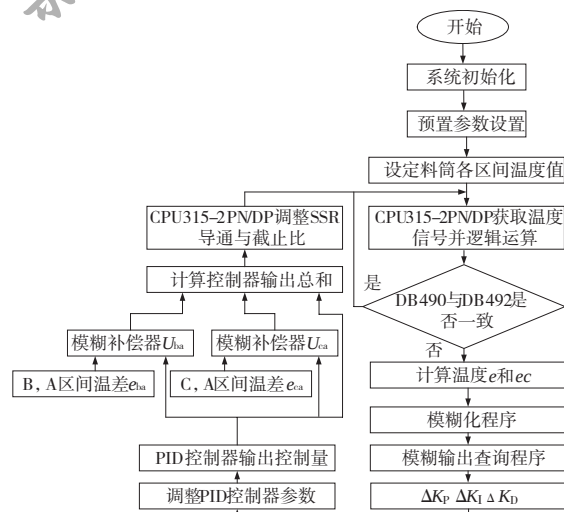


图 4 料筒温度控制流程图

5 仿真分析

为验证双模糊补偿 PID 算法对料筒温度控制的有效性及其解耦效果,利用 Simulink 仿真软件对模糊 PID、双模糊补偿 PID 控制算法进行仿真对比,设置料筒 A, B, C 区间温度分别为 180, 200, 210℃, 两种控制器料筒区间温度响应对比曲线如图 5 所示。由图 5 可知,图中 1, 2, 3 曲线的超调量分别约为 17.25, 15.3, 17.6℃, 达到稳定时间分别约为 110, 90, 100 s; 图中 4, 5, 6 曲线平滑、不存在超调, 则双

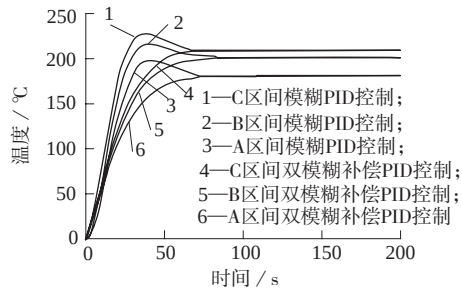


图5 两种控制器料筒区间温度响应对比曲线

模糊补偿 PID 控制效果明显优于模糊 PID 控制器,表明模糊补偿器能够有效地克服料筒区间的耦合干扰。在时间为 120 s 时,对料筒 B 区间(2,5 曲线)温度添加一个 20% 阶跃干扰量进一步验证模糊补偿控制器的解耦效果,料筒 B 区间添加 20% 干扰后仿真曲线如图 6 所示。

由图 6 可见,对料筒 B 区间添加 20% 干扰后,1,2,3 曲线均偏离稳定状态,偏离量分别约为 6.35, 10.2, 2.5 °C,采用模糊 PID 控制器时料筒 B 区间对 C 区间耦合影响较大;4,5,6 曲线偏离稳定状态量分别约为 0.5, 5.2, 0.2 °C,偏离量较小可以满足控制需求,故采用双模糊补偿 PID 控制时料筒区间温度相互影响较小。由 6 曲线表明,模糊补偿控制器能够很好地消除料筒区间的耦合影响。

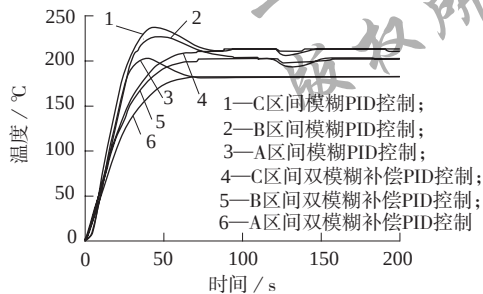


图6 料筒 B 区间添加 20% 干扰后仿真曲线

为验证料筒温度控制系统模型失配鲁棒性和抗干扰能力,将料筒 A 区间传递函数的时间常数增加 20%,同时在时间为 130 s 时增一个 30% 阶跃干扰量对双模糊补偿 PID 和模糊 PID 进行仿真对比^[11],图 7 为料筒 A 区间模型失配前后响应对比曲线。表 5 为曲线性能对比。

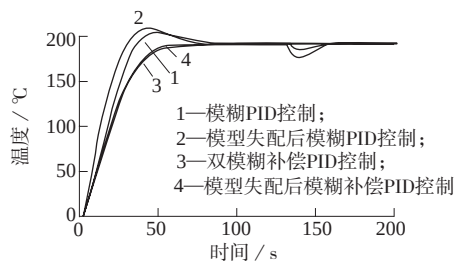


图7 料筒 A 区间模型失配前后响应对比曲线

表5 曲线性能对比

曲线编号	超调量 / °C	调节时间 / s	二次干扰超调量 / °C	二次干扰调节时间 / s
1	13.5	90	-26.5	70
2	17.8	120	-33.2	80
3	1.3	64	-0.6	10
4	3.4	80	-1.2	18

由图 7、表 5 曲线直观表象和曲线参数数据对比可知,双模糊补偿 PID 料筒温度控制系统具有较好的模型失配鲁棒性和抗干扰能力,因模糊补偿器可以补偿料筒区间耦合、摩擦生热、电压波动等因素的干扰,以提升控制系统的稳定性和精确性。

6 结论

(1) 对料筒区间温度耦合进行研究,设计模糊 PID 系统主控制器和模糊补偿控制器构成双模糊补偿 PID 控制器,将料筒区间的耦合影响作为干扰量进行补偿控制,实现料筒区间解耦。

(2) 以 SIEMENS CPU315-2PN/DP 为硬件控制器,在 STEP7 下位软件中设计并实现料筒温度控制程序。

(3) Simulink 仿真表明:双模糊补偿 PID 控制器能够很好地克服料筒温度耦合问题,提高控制系统模型失配鲁棒性和抗干扰能力,最终提高料筒多区间温度控制的稳定性和精确性。

参考文献

- [1] 迟晓妮,何俊杰.基于单神经元自适应 PID 的注射机料筒温度控制[J].塑料科技,2019,47(1):111-114.
Chi Xiaoni, He Junjie. Temperature control of injection machine barrel based on single neuron adaptive PID[J]. Plastics Science and Technology, 2019, 47(1):111-114.
- [2] 肖坤峨.模糊 PID 法在塑料成型条件优化中的应用[J].工程塑料应用,2016,44(8):129-132.
Xiao Kun'e. The application of fuzzy PID method in the optimization of plastic forming conditions[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(8):129-132.
- [3] 李飞,马休,曹卫华.煤气混合过程热值与压力的模糊补偿解耦控制[J].中南大学学报:自然科学版,2011,42(1):94-99.
Li Fei, Ma Xiu, Cao Weihua. Fuzzy compensation decoupling control of calorific value and pressure in gas mixing process[J]. Journal of Central South University: Natural Science Edition, 2011, 42(1):94-99.
- [4] 闻晶,孟文,徐正平.基于 STM32 的智能温室模糊控制器的设计[J].机床与液压,2013,41(8):92-94.
Wen Jing, Meng Wen, Xu Zhengping. Design of intelligent greenhouse fuzzy controller based on STM32[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2013, 41(8):92-94.

(下转第 88 页)

- [9] 沈忠良,肖国华,徐生,等.圆周多行位圆弧形直线运动抽芯模具设计[J].工程塑料应用,2016,44(5):70-73.
Shen Zhongliang, Xiao Guohua, Xu Sheng, et al. Design of core-pulling mould by rounded linear motion for multiline positions around circumference[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(5):70-73.
- [10] 唐晖.一种新型自动自锁液压抽芯机构设计[J].塑料科技,2016,44(6):76-80.
Tang Hui. Design of a new type of automatic self-locking hydraulic core pulling mechanism[J]. Plastic Science and Technology, 2016, 44(6):76-80.
- [11] 叶久新,王群.塑料成型工艺及模具设计[M].北京:机械工业出版社,2007.
Ye Jiuxin, Wang Qun. Plastic molding technology and mould design[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2007.
- [12] 王文君,葛正浩,蒋萌,等.基于Pro/E榨汁机上盖注塑模具的3D设计及数控加工[J].塑料,2010(4):12-14.
Wang Wenjun, Ge Zhenghao, Jiang Meng, et al. 3D design and NC machining programming for the juicer cover injection mould based on Pro/E[J]. Plastics, 2010(4):12-14.
- [13] 王怀奥,肖国华.熟食机主体壳注塑模具结构设计[J].塑料工业,2017,45(11):79-84,124.
Wang Huaiao, Xiao Guohua. Design of injection mould for main body of cooked food machine[J]. China Plastics Industry, 2017, 45(11):79-84,124.
- [14] 池寅生,陈建锋,孙庆东,等.自动脱螺纹的水杯盖三板注塑模具设计[J].塑料科技,2015,43(5):77-80.
Chi Yinsheng, Chen Jianfeng, Sun Qingdong, et al. A three-plate injection mold design for the lid of cup with the thread automatically demolding mechanism[J]. Plastics Science and Technology, 2015, 43(5):77-80.
- [15] 梁迪,张鹏,何昌传.注塑工艺参数对加强筋脱模力的影响[J].塑料,2015,44(2):76-80.
Liang Di, Zhang Peng, He Changchuan. Influence of injection parameters on ejection force of strengthening rib[J]. Plastics, 2015, 44(2):76-80.
- (上接第81页)
- [5] 李明辉,张孝杰.注塑机料筒多段温度控制系统的研究与设计[J].包装工程,2017,38(19):179-183.
Li Minghui, Zhang Xiaojie. Research and design of the multi-stage temperature control system of the injection molding machine barrel[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(19):179-183.
- [6] 罗帆,张云,崔树标.规则自组织模糊PID注塑机料筒温度控制[J].工程塑料应用,2015,43(6):65-69.
Luo Fan, Zhang Yun, Cui Shubiao. Self-organizing fuzzy PID controller for injection molding machine cylinder temperature[J]. Engineering Plastics Application, 2015, 43(6):65-69.
- [7] 胡亚南,祁广利,霍蛟飞,等.基于模糊PID的FDM型3D打印机喷头温度控制系统[J].包装工程,2017,38(19):173-178.
Hu Yanan, Qi Guangli, Huo Jiaofei, et al. Temperature control system of FDM type 3D printer nozzle based on fuzzy PID[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(19):173-178.
- [8] 彭斐,彭勇刚,韦巍.注塑机料筒温度模糊解耦控制系统[J].工程塑料应用,2010,38(3):71-74.
Peng Fei, Peng Yonggang, Wei Wei. Bucket temperature fuzzy decoupling control of injection molding machine[J]. Engineering Plastics Application, 2010, 38(3):71-74.
- [9] 李宏杰.工程塑料注塑成型中PLC的应用及分析[J].塑料工业,2019,47(3):23-25.
Li Hongjie. Application and analysis of PLC in Injection molding of engineering plastics[J]. China Plastics Industry, 2019, 47(3):23-25.
- [10] 李明辉,杨星奎.基于内模解耦的注塑机料筒温度控制策略[J].包装工程,2018,39(5):141-145.
Li Minghui, Yang Xingkui. Temperature control strategy of injection molding machine barrel based on internal mold decoupling[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(5):141-145.
- [11] 刘斌,谢煜,孙艺哲.基于Smith预估模糊控制的温室灌溉决策系统设计[J].中国农机化学报,2019,40(8):149-153.
Liu Bin, Xie Yu, Sun Yizhe. Design of greenhouse irrigation decision system based on Smith predictive fuzzy control[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2019, 40(8):149-153.