

低压注塑机温度控制系统研究

任旭晨 朱蕴璞

(南京理工大学机械工程学院 南京 210094)

摘要:胶料温度稳定性对低压注塑工艺产品质量有重要的影响,提出一种基于模糊 PID 算法改进的温度控制策略,此方法可进一步提高现有低压注塑设备生产运行时的温度稳定控制精度。首先对系统数学模型及参数动态设定思想进行了研究,然后设计了本研究所用的硬件测试电路及软件测试及控制算法。最后通过温度控制实验表明,设计的温度控制系统在不同环境下均可通过自动调节相关温度控制参数,实现各执行单元系统温度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的控制精度指标。

关键词:低压注塑;模糊 PID;温度控制

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8010

Research on temperature control system of low pressure injection molding machine

Ren Xuchen Zhu Yunpu

(School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: Temperature stability has an important influence on the quality of Low Pressure Injection process. A fuzzy PID algorithm is proposed to improve the temperature control strategy. This method can further improve the control precision of the existing low pressure injection molding equipment. This paper introduces the mathematical model and system dynamic parameter setting idea, also describes the testing circuit and the software algorithm used in this study. Finally, the temperature control experiment shows that the temperature control system designed in this paper can automatically adjust the relevant parameters in different environments, and achieve the accuracy index of $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

Keywords: low pressure injection; fuzzy PID; temperature control

0 引言

低压热熔胶注塑成型工艺是一种以很低的注塑压力将封装材料注入模具并快速固化成型的封装工艺方法,以起到绝缘、耐温、抗冲击、减震、防潮、防水、防尘、耐化学腐蚀等保护作用^[1]。胶料状态取决于温度,并对产品性能和质量有重要影响。温度过高会导致胶料碳化,过低则胶料融化不均匀、流动性差、塑化不良,制品成型不好,同时单周期内温差过大易导致产品热应力较大,故温度控制系统的稳定性决定产品质量^[2]。目前,低压注塑机温度控制系统大量采用 PID 控制,但实际低压注塑生产过程往往是非线性、时变性的长时延系统,常规 PID 应用于此系统难以达到理想的控制效果^[3]。

该文研究了低压注塑机温度控制系统的温度特性,并且提出一种通过模糊 PID 算法调节等效加热功率的温度控制策略,此方法可有效将系统的控制精度由目前的

$\pm 1^{\circ}\text{C}$ 提高至 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$,并通过实验进行不同温度环境下的控制稳定性验证以及抗干扰性分析,以满足设备在不同地区环境温度存在差异的前提下均能实现温度稳定控制。

1 低压注塑机温度模型

低压注塑机温度控制系统包括胶缸、胶管和胶枪的温度控制,其结构如图 1 所示。生产过程中融化状态的胶料在齿轮泵的压力下从胶缸通过胶管送至胶枪,最后注入模具完成产品加工。单位时间系统各单元转化热量为 Q_n ,各单元散失热量为 Q'_n ^[4]。

由于注塑机部件外形复杂,且系统温度场主要分布在金属容器、注塑胶料、以及胶管和胶缸的保温层中,难以建立温度系统精确模型。因低压注塑工艺使用的胶料熔融状态黏性较大,其热对流现象可忽略不计,认为其是各处等温系统^[5]。考虑到低压注塑机生产状态下与环境温差

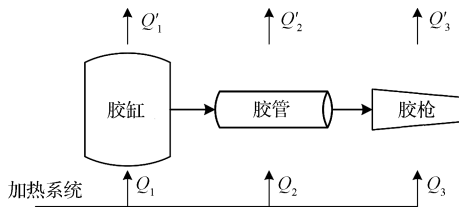


图1 注塑机温度模型

较大,故从热量散失角度进行数学建模^[6]。

由热量计算式(1)可知,当热量变化值 $\Delta Q=0$ 时温度变化值 $\Delta T=0$,此时温度稳定。由加热散热角度可得式(2):

$$\Delta Q = M \cdot C \cdot \Delta T \quad (1)$$

$$\Delta Q = P \cdot t - K \cdot (T_1 - T_0) \quad (2)$$

式中: P 为加热功率, t 为加热时间, K 为系统散热系数, T_1 为系统温度, T_0 为环境温度,假设系统传导、辐射及对流散热稳定情况下上式成立。

2 温度控制算法研究

2.1 PID 控制

PID控制算法由于其结构简单、易实现、鲁棒性强等优点,一直是工业生产过程应用最广、最成熟的控制算法,目前大多数工业控制器都是基于PID算法或其改进型^[5]。

$$u(k) = K_p \cdot e(k) + K_i \cdot \sum_{i=0}^k e(i) + K_d \cdot [e(k) - e(k-1)] \quad (3)$$

式(3)为PID算法数学表达式, $u(k)$ 为控制器的输出值, K_p 、 K_i 、 K_d 分别为比例系数、积分系数和微分系数, $e(k)$ 为被控量与设定值的差值。通过对比例、积分、微分系数调节可有效实现温度自动控制。

2.2 模糊PID控制算法

模糊控制利用模糊逻辑推理,可对难以建立精确数学模型的复杂对象实现有效控制,其控制系统机构采用“不精确推理”,推理过程模拟人的思维过程,适于解决传统控制方法难以奏效的非线性、时变及大滞后等问题^[15]。模糊控制理论结合PID控制可继承两者优点,模糊PID控制的实现方法如图2所示。

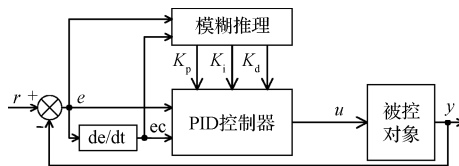


图2 模糊PID控制系统结构

模糊控制过程分为数字信号模糊化(D/F)、经模糊推理得到模糊集合结论以及解模糊化(F/D)变为清晰量的过程,从而向下一级输出信号进行对象控制^[7]。此算法可通过模糊规则控制表来描述模糊控制规则集。

表1 模糊规则控制表

	NB	NM	NS	0	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	PS	0
NM	PB	PM	PM	PS	PS	0	NS
NS	PM	PM	PS	PS	0	NS	NS
0	PM	PS	PS	0	NS	NS	NM
PS	PS	PS	0	NS	NS	NM	NM
PM	PS	0	NS	NS	NM	NM	NB
PB	0	NS	NS	NM	NM	NB	NB

经典的二维模糊控制规则表如表1所示,是应用最广模糊控制规则。字符NB至PB分别代表偏差正大、正中、正小、零、负小、负中、负大;表中横纵两列表头为两个输入量,系统温度的偏差和变化率;表中数据表示不同输入状态下通过模糊规则“if...then...”转换为某种映射,通过切换PID参数实现温度自动控制。

2.3 改进的模糊PID控制策略

由温度模型可知温度稳定条件为热量变化值为0,如式(4)所示:

$$P \cdot t = \int K \cdot (T_1 - T_0) dt \quad (4)$$

系统温度稳定时,单位时间散失热量恒定,由系统进行热量补偿即可实现温度稳定控制。PID算法针对温度进行控制,加热功率跳动较大,导致温度跳动较大。改进模糊PID控制策略(下文称改进策略)通过对单周期加热时间微调来调节热量转化值,式(5)为实现表达式:

$$t(k) = t(k-1) + u(k) \quad (5)$$

式中: $t(k)$ 为单周期内加热时间, $u(k)$ 为PID计算结果。由于此系统具有非线性、时变及大滞后性,仅通过PID调节容易产生较大温度波动,故引入模糊PID算法对参数动态调节。

2.4 温度控制系统设计

系统工作时与环境温差较大,将温控系统分为快速加热、快速稳定和精确稳定3部分。快速加热段全速加热;温差小于预设值后采用PID算法实现快速稳定;温度稳定在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内预设时长后切换精确稳定方式。因低压注塑工艺严格限制胶料温度上限,以防高温导致碳化影响产品质量,应尽量提高各组PID参数的微分系数,避免温度升高过快产生较大超调^[8]。

精确稳定段中,温度波动极小,仅需对单周期加热时间进行微调即可补偿散失热量。实际测试发现采用定值作为模糊控制参数时系统温度可稳定在 $\pm 0.5^\circ\text{C}$,对部分参数进行动态变换可以将温度精度进一步提高至 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 。变换关系如表2所示。

表2 模糊PID控制参数变换

温度偏差/℃	比例系数(K_P)	积分系数(K_I)	微分系数(K_D)
0~0.4	恒定	$K_{I0} = (1 - 0.02t) \cdot K_I$	$K_{D0} = (0.5 + 0.02t) \cdot K_D$
0.4~0.8	恒定	$K_{I0} = (1 - 0.05t) \cdot K_I$	$K_{D0} = (0.5 + 0.05t) \cdot K_D$
0.8以上	快速稳定参数	快速稳定参数	快速稳定参数

表中： t 代表进入稳定状态采集计算次数， K_I 、 K_D 为模糊规则表系数， K_{I0} 、 K_{D0} 为实际计算系数，各含 t 的代数式系数范围为0~1。上表对计算参数动态变换，实现温度快速精确稳定^[9]。其变化思想为：积分系数可消除余差，但不利于时延系统稳定；微分系数不能消除余差，但可改善时延系统控制品质^[10]；在温差超过0.8℃时受干扰较强，采用改进策略难以快速恢复，故切换至快速稳定状态。

3 温度控制系统硬件设计

本系统属于中低温区工业测试环境，选用铂热电阻PT100进行温度测量，其测量电路如图3所示。

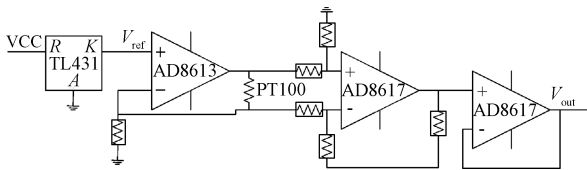


图3 温度测量电路

图3中通过恒流源测量法进行电阻测量，并以四线制接入测试系统以保证测试精度^[11]。此方案中，恒流源的精确度非常关键，选用高精基准电压源TL431A以及斩波自稳零式高输入阻抗型运算放大器AD8613组成精密恒流源电路。激励电流通过铂热电阻，两端产生电压信号，经低噪声仪表放大器AD8617进行信号差分放大及跟随^[12-13]。此时输出信号与PT100阻值呈线性关系，转换后的结果经比例计算可得到传感器阻值，通过查表即可得到温度值^[14]，经计算此方案分辨率为0.018℃，满足系统测试要求。

4 温度控制系统软件设计

由于系统存在三段加热方式，合理有效的切换控制算法尤为重要。经实际测试，得到系统加热响应时间约为10s，通过现场调试选取控制精度在±1℃范围以及在精度内稳定60s作为切换判据^[15]。本系统算法基于嵌入式操作系统uCOS II开发，通过STM32F407型微控制器实现。软件流程如图4所示。

5 实验测试

研究过程中由于系统精确模型难以得到，所以直接通过实验验证上述控制方法。实验环境由苏州康尼格电子科技有限公司提供，低压注塑机选用HM600型，配套胶缸为KH05型，胶管为1.5m长标准胶管，其连接如图5

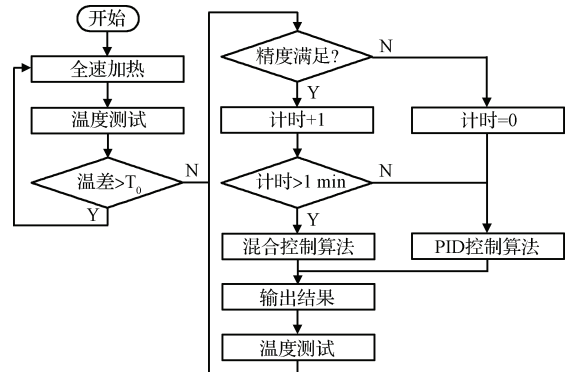


图4 控制系统软件流程

所示。考虑到外界环境温度会影响实验结果，所以分别在2016年12月及2017年4月进行两次对比实验，其环境温度分别为8.3℃和26.1℃。胶料选用德国汉高公司生产的聚酰胺(PA)热熔胶6209型，其工艺要求温度为220℃。

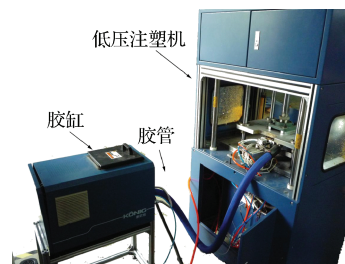


图5 设备连接图

5.1 快速加热段

此算法可快速实现温度的稳定，加热过程中胶枪存在一定量的超调，但非注塑环节枪头内无胶料，对产品质量无影响如图6所示。在环境温度为26.1℃时，25min可将系统温度加热并稳定在220℃，由于环境温度影响加热速度，在8.3℃时此过程耗时35min。

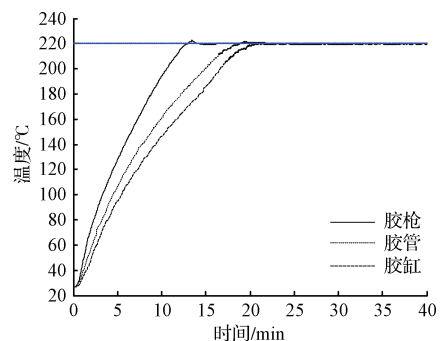


图6 快速加热段

5.2 温度稳定段

由于环境温度影响加热速率,故通过实验验证温度控制精度是否受其影响,不同环境温度下不同控制策略系统各单元温度控制精度对比如表3所示。

表3 温度控制精度对比

环境温度/ ℃	控制方法	胶枪精度/ ℃	胶管精度/ ℃	胶缸精度/ ℃
8.3	PID	±1	±0.8	±0.8
	改进策略	±0.5	±0.2	±0.2
26.1	PID	±1	±0.8	±0.8
	改进策略	±0.5	±0.2	±0.2

表3中可看出在两种控制策略的控制精度均不随环境温度变化,并且改进策略可进一步提高温度控制精度。枪的控制精度可由±1℃提高至±0.5℃,胶缸及胶管控制精度可由±1℃提高至±0.2℃,两种控制策略下胶枪温度控制情况对比如图7所示。

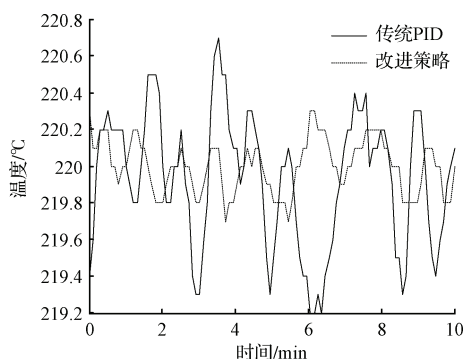


图7 温度稳定段对比

5.3 温度控制系统抗干扰性实验

车间生产中,不可避免的存在因车间大门打开或关闭等因素产生扰动,导致热量散失速度改变而影响温度稳定性。实验发现相同强度下,不同环境温度与不同加热段扰动大小均不同。环境温度为8.3℃时扰动较大,最大强度下各单元扰动对比如图8所示。

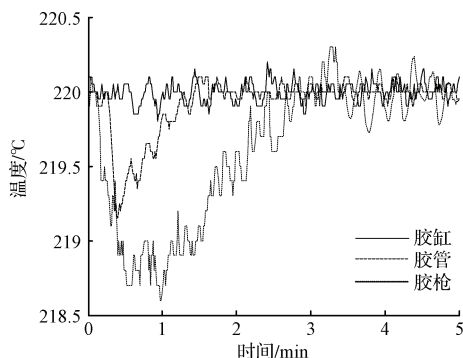


图8 各单元抗干扰性对比

图中可看出,同等强度干扰下,稳定性由高到低分别是胶缸、胶管和胶枪,从图中可以看出此方法较PID算法相比超调较小,对胶料化学特性无影响。同时可以看出在强对流干扰下,改进策略的偏差值仅比PID方式控制范围稍大,故此算法具有较好的鲁棒性。

6 结论

对比传统PID,改进策略在温度控制稳定性上有明显提高,从原有的±1℃可提高至±0.5℃。系统各单元对比发现胶管及胶缸的稳定性以及鲁棒性明显优于胶枪,因胶管及胶缸有较好的保温设计,胶缸外壳可进一步减弱空气流动的干扰,而胶枪则直接裸露于空气中,对环境扰动较敏感。环境干扰在一定强度内改进策略鲁棒性优于PID控制算法,但超过一定强度后需要较长的稳定时间恢复至系统设置温度,故应采用智能算法实现两种控制系统的切换以达到最优控制结果。对比PID算法以及神经网络等先进算法,本文所提出的改进策略具有控制精度高、鲁棒性好、系统加热超调小、计算简单易实现等优点,适于在各类控制器上移植应用。

参考文献

- [1] 郭建松,包建东,朱建晓,等. 低压注塑机注射装置智能化温度控制研究[J]. 工业仪表与自动化装置, 2016(6):27-30.
- [2] 崔振华. 全电动注塑机射胶过程控制研究[D]. 淄博: 山东理工大学, 2015.
- [3] 段江霞. 模糊PID控制在大惯量时滞温度控制系统中的应用研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2013.
- [4] 邓丽,黄炎,费敏锐,等. 改进的广义预测控制及其在温度系统中的应用[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(5): 1057-1064.
- [5] 郑童举,包建东,朱建晓,等. 基于ANSYS的热熔胶温度场分析[J]. 国外电子测量技术, 2017, 36(1): 70-73.
- [6] 张文娟,包建东,朱建晓,等. V型螺杆式注塑系统设计[J]. 测试技术学报, 2017, 31(2): 175-180.
- [7] 杨达飞,黄力. 混沌模糊神经网络算法在注塑机温度实时控制中的应用[J]. 塑料工业, 2016, 44(4): 64-68.
- [8] 陶西孟. 注塑机温度控制系统算法研究与实现[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2015.
- [9] 李江源. 注塑机控制系统半实物仿真平台的研究与实现[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2016.
- [10] 穆珊珊. 广义预测控制隐式算法在温控系统中的应用[J]. 自动化仪表, 2009, 30(5): 43-45.
- [11] 吕方瑶. 一类高精度温度测量技术研究[J]. 电子测量技术, 2011, 34(8): 88-90.
- [12] 胡鸿志. 基于新型温度传感器的数字温度计设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2011, 25(8): 741-744.

- [13] 郑泽祥,姜周曙.铂电阻高精度温度测量系统设计[J].机电工程,2013,30(12):1494-1497.
- [14] 王文俊.高响应伺服驱动液压注塑机解耦控制方法研究[D].广州:华南理工大学,2012.
- [15] 张鹏飞,党开放.基于自适应模糊PID的注塑机温度控制及仿真[J].中国塑料,2013,27(4):85-89.

作者简介

任旭晨,1993年生,硕士研究生,研究方向为嵌入式系统应用开发。
E-mail:465370725@qq.com

伊利诺伊大学采用泰克仪器装备纳米制造实验室

首批大学本科选择吉时利 4200A-SCS 参数分析仪,为大学生提供动手操作经验

2017年10月20日,泰克科技公司日前宣布,伊利诺伊大学香槟分校电气和计算机工程系购买了3台吉时利4200A-SCS参数分析仪及3个4200A-CVIV多功能开关模块,用于首个本科生纳米加工实验室,旨在为学生提供与微纳电子动手实践经验。4200A-SCS是一种全面集成的模块化参数分析仪,用来对材料、半导体器件和工艺进行电气特性测试。4200A-CVIV提供了一种错误检验方法,在DC和AC测量之间实现切换,并把AC测量传送到测试设备的任意端子。

伊利诺伊大学正在建立纳米制造实验室——阿提斯ECE大楼,建筑面积23万平方英尺,有20多间实验室,为学生提供电子和计算操作培训。该大学之所以在纳米制造铸造实验室中选择4200A-SCS,是因为其希望购买的设备能够立即投入使用,而使学生和新用户的培训达到最小。最新推出的4200A-SCS突出了易用性和以下功能:

1)内嵌YouTube类测量指引视频,包括中文、英文、日文和韩文,介绍了怎样设置、执行及调试测试,并包含各种应用指南和网上研讨会;

2)超过450项随时可以使用的、用户可以修改的应用及器件,快速提升测试计划开发工作;

3)可视化测试计划开发和测试排序工具;

4)集成置信度检查,用户可确保探头接触晶圆焊盘。

“实践证明,吉时利4200A-SCS提供了先进的参数测试功能与易用性的理想组合。”新实验室指导员兼协调员Dane Sievers说,“事实上,该仪器的操作非常直观易懂,甚至未经培训就能操作。”

4200A-SCS由以下几部分组成:源测量单元,用于I-V表征;电容-电压模块,用于AC阻抗测量;超快速脉冲测量单元,用于执行脉冲式I-V、波形捕获和瞬态I-V测量。通过4200A-SCS,研究人员或工程师可以测试关键参数,满足材料研究、半导体器件设计、开发或生产等需求。

“我们做了大量的工作,即使是以前没有参数分析仪经验的用户,4200A-SCS设置起来也非常简便,而且很容易学习。”泰克科技公司吉时利产品线总经理Mike Flaherty说,“4200A-SCS的易用性,使其特别适合伊利诺伊大学正在建设的这类教学实验室,以及在多个用户之间共享资源的半导体器件研究、器件故障分析和可靠性测试等应用。”

想知道泰克其他动态? 查看Bandwidth Banter博客,关注Twitter和Facebook,了解泰克最新消息。