

研究与开发

基于自适应模糊 PID 的木塑挤出机料筒温度控制方法

孙 焱, 刘亚秋, 杜 杰, 景维鹏

(东北林业大学; 生物质材料科学与技术教育部重点实验室, 黑龙江哈尔滨 150040)

摘要: 基于模糊控制和 PID 控制方法, 对木塑挤出机料筒温度控制系统, 设计一种自适应模糊 PID 温度控制器。在加热料筒处添加辅助加热装置, 根据实测的挤出机料筒温度分布曲线, 通过参数辨识构建料筒温度模型, 采用模糊控制对 PID 参数动态整定, 实现对温度模型的高效控制。试验结果表明, 应用该方法可使系统的升温速度快, 超调量减小, 对外部干扰有良好的适应性, 满足木塑挤出机温度精确控制的要求。

关键词: 木塑复合材料; 挤出机; 料筒温度; PID 控制; 自适应模糊控制

中图分类号: TQ320.663; TS653

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654(2014)02-0018-04

Temperature Control for Wood-Plastic Extrusion Barrel Based on Fuzzy Adaptive and PID Control Methods

SUN Yao, LIU Ya-qi, DU Jie, JING Wei-peng

(Northeast Forestry University; Key Laboratory of Bio-based Material Science and Technology (Ministry of Education),

Harbin 150040, Heilongjiang, China)

Abstract: The authors developed a fuzzy adaptive Proportion-Integration-Differentiation (PID) temperature control system for wood-plastic extruder. According to measured temperature distribution curves, a temperature model for the barrel was established by parameter identification. An application test showed that this system could improve heating speed and temperature control accuracy, reduce overshoot and have a good adaptability to the external disturbance, compared with a conventional PID control system.

Key words: wood-plastic composite; extruder; barrel temperature; PID control; fuzzy adaptive control

挤出成型是木塑复合材料 (Wood-plastic composites, WPC) 的重要成型方式。为了改善 WPC 的成型性能, 近年来对成型设备控制方法的研究增多。料筒作为挤出成型设备的关键部件, 其温度对成型材料的流动性和均匀性具有重要影响。目前对木

塑挤出机料筒温度系统的研究多停留理论层面, 实际可操作性欠缺^[1-4]。鉴于此, 笔者设计一种基于模糊控制与比例-积分-微分 (Proportion-Integration-Differentiation, PID) 控制相结合的控制方法, 以实现料筒温度的精确控制, 为提高木塑复合材料的成型质量提供技术支持。

收稿日期: 2013-06-28; 修改日期: 2014-02-10

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目“木塑复合材料制造关键技术与示范”(2012BAD32B04)。

作者简介: 孙焱(1982—), 女, 东北林业大学硕士研究生。

责任作者: 刘亚秋, 男, 东北林业大学信息与计算机工程学院副院长, 教授, 博士生导师。

1 挤出机总体结构及温度系统工作原理

如图 1 所示, 挤出机主要包括 3 部分:

1) 传动部分控制螺杆转速;

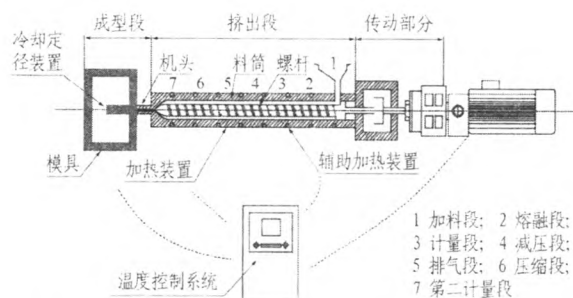


图1 木塑复合材料挤出机温度控制系统的结构

Fig. 1 Temperature control system for WPC extruder

2) 挤出段完成均匀混料、熔融、计量、减压、排气、压缩、二次计量等工作;

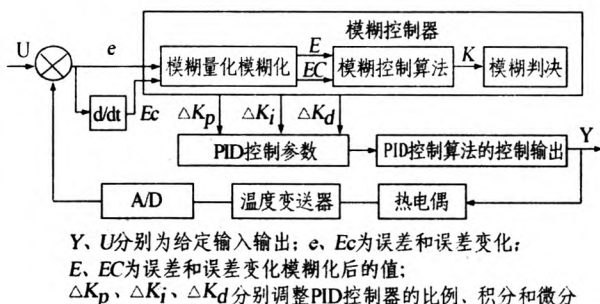
3) 成型段主要实现对物料成型的模具温度控制和冷却控制^[5]。

在整个挤出过程中,料筒温度的控制至关重要,尤其是双螺杆和三螺杆等大型挤出生产线,料筒段较长,温度控制较复杂。因此,笔者提出,在料筒加热区设置辅助加热装置,以完成补充加热或降温功能,确保物料温度控制均匀高效。

料筒温度控制系统是通过控制器对给定量进行调整,通过比较检测料筒各段温度信号的偏差,调整控制信号,得到最佳控制参量,由执行器执行控制命令,进而完成对被控对象的控制。

2 料筒温度控制器的设计

挤出机温度控制系统的结构如图2所示。



Y、U分别为给定输入输出; e、Ec为误差和误差变化;
E、EC为误差和误差变化模糊化后的值;
 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 分别调整PID控制器的比例、积分和微分

图2 自适应模糊PID控制系统

Fig. 2 Adaptive fuzzy and PID control system

2.1 料筒加热系统模型的建立

本研究中,挤出机料筒采用感应加热方式,料筒材料的磁导率、电导率、比热容等物理参数均会随温度而改变,进而影响加热过程。

基于对加热温度(即外感应加热器产生的温度)与熔体温度(指螺杆前段与机头连接间物料的温度)的综合分析,结合文献^[6-7]对螺杆转速的分析,可知:挤出机料筒加热部分具有自平衡能力,因此可用二阶系统纯滞后环节来描述。由于二阶不振荡系统通过参数辨识可降为一阶模型,因此,采用阶跃响应法,建立料筒加热系统的数学模型如下。

$$G(s) = \frac{K \cdot e^{-\tau s}}{T_s s + 1} + f(s) \quad (1)$$

$$f(s) = as + b \quad (2)$$

其中:K、T、 τ 分别为对象模型的静态增益、纯滞后时间常数和惯性时间常数,s为复变量,f(s)为熔体温度函数。

设定系统全加热功率为16.8 kW,在加热效率为19%时,可以得到 $a \approx 0.01142$ 、 $b \approx 25$ 。因此,料筒加热系统的温度模型可以近似为:

$$G(s) = \frac{180e^{-0.2s}}{1650s + 1} + 0.01142s + 25 \quad (3)$$

2.2 料筒温度的控制规则

挤出机料筒温度信号通过热电偶采集,经温度变送器器和A/D转换为控制系统反馈输入信号,通过自适应模糊PID控制器完成信号处理,对输入偏差e和偏差变化率Ec采用模糊化处理,通过对模糊逻辑规则的结果处理、查表和运算,完成对PID参数的动态自校正。

在变参数PID控制器中,E和EC两个参数的变化规则为:

$$E = \{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$$

$$EC = \{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$$

ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 三个输出量的模糊子集为:

$\{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$ 。

通过对挤出机工作时料筒温度反复测试,得到料筒温度偏差e的基本论域范围为 $[-15^\circ\text{C}, 15^\circ\text{C}]$,E的量化因子Ke为0.25;料筒温度偏差Ec的基本论域范围为 $[-3^\circ\text{C}, 3^\circ\text{C}]$,Ec的量化因子KEc为1,由此确定:E、EC论域为 $\{-3, 3\}$; ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 的论域分别为 $\{-1, 1\}$ 、 $\{-0.1, 0.1\}$ 、 $\{0, 6\}$ 。

在挤出机料筒温度控制器模糊规则设计中,通过分析解模糊化,采用加权平均法,依据偏差及偏差变化率,在不同阶段对系统动态过程的影响,归纳出模糊规则,见表1。

表 1 模糊规则表
Tab. 1 Fuzzy control rules

$kp/ki/kd$		E_c						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
e	NB	NB/PB/NS	NB/PB/NS	PS/PM/ZO	NM/PM/ZO	NS/PM/ZO	NS/ZO/NB	ZO/ZO/NB
	NM	NB/PB/PS	NB/PB/PS	NM/PM/PS	NM/PM/PS	NS/PS/ZO	ZO/ZO/NS	ZO/ZO/NM
	NS	NM/PM/PB	NM/PM/PB	NM/PS/PM	NS/PS/PS	ZO/ZO/PS	PS/NS/NS	PM/NS/NM
	ZO	NM/PM/PB	NS/PS/PM	NS/PS/PM	ZO/ZO/ZO	PS/NS/ZO	PM/NS/NS	PM/NM/NM
	PS	NS/PS/PM	NS/PS/PM	ZO/ZO/PS	PS/NS/PS	PS/PS/ZO	PM/NM/NS	PM/NM/NS
	PM	ZO/ZO/PM	ZO/ZO/PS	PS/NS/PS	PM/NM/PS	PM/NM/ZO	PM/NB/NS	PB/NB/NS
	PB	ZO/ZO/NS	PS/ZO/ZO	PS/NS/ZO	PM/NM/ZO	PM/NB/ZO	PB/NB/NB	PB/NB/NB

PID 参数模糊自整定时,控制器通过采样和换算,确定 E 和 EC 的值;对照模糊决策表,得知 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 在论域内的精确值;再与比例因子 l_p 、 l_i 、 l_d 作积运算,确定修正 PID 参数值。通过试凑法得出 PID 控制器参数的初始值 K_{p0} 、 K_{i0} 、 K_{d0} ,则有:

$$K_p = K_{p0} + \Delta K_p \times l_p$$

$$K_i = K_{i0} + \Delta K_i \times l_i$$

$$K_d = K_{d0} + \Delta K_d \times l_d$$

根据被控对象的不确定性和滞后性,采样时间为 10 s,将目标温度定为 170 ℃,分别采取模糊自整定 PID 算法和常规 PID 算法进行仿真。

通过试凑法确定参数设置为: $K_{p0}=4.6$, $K_{i0}=0.5$, $K_{d0}=3.6$;

自适应模糊 PID 算法中的误差与误差变化率,通过计算分别取: $Ke=0.25$, $KEc=1$;

比例因子分别为: $l_p=4.1$, $l_i=0.03$, $l_d=0.17$ 。

3 应用试验结果及分析

应用试验在配备改进控制系统的平行双螺杆挤出机 SJSZ65 上进行,使用相同的原材料及工艺,进行 WPC 的生产试验,分别采用常规 PID 控制方法和模糊 PID 控制方法,实时检测料筒的温度。

系统应用西门子 STEP7 作为软件编程环境,使用模块化编程方式,根据构建的模糊控制表,按照从上到下、从左到右的顺序,输入相应的数据块。在每个采样周期,根据偏差和误差变化的论域数据,动态查找对应的模糊控制量。

试验过程为:

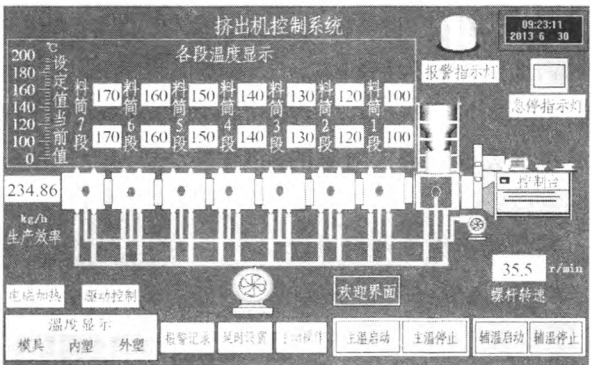
1) 将原材料按一定比例充分混合,在双辊炼胶机上塑炼后,裁成块状物料放入挤出机加料斗中;

2) 开启主加热装置,在 140 ℃ 下预热 30 min 后,开启挤出机温度控制系统;

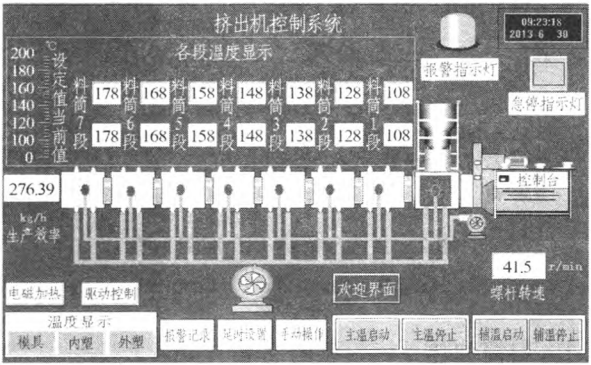
3) 随着温度的升高,当各段温度达设定值,在 170 ℃、10 MPa 的条件下,利用平行双螺杆挤出机挤出成型,通过控制系统控制挤出温度,并保持 90 min。

3.1 辅助加热装置的作用

在仅开启主加热装置及同时开启辅助加热装置条件下,控制系统人机界面显示系统温度变化情况,如图 3 所示。



a 开启主加热装置



b 开启双加热装置

图 3 挤出机控制系统温度分布

Fig. 3 Temperature distribution of extruder

如图 3a 可知,在仅开启主加热装置时,系统实测温度与预设值一致,材料密度为 $1\,150\text{ kg/m}^3$,挤出时间为 10 h 时,螺杆转速最大为 35.5 r/min ,挤出效率为 82 m/h ,生产效率可达 234.86 kg/h 。

图 3b 显示,在同样的试验条件下开启辅助加热装置后,料筒各段温度均上升 $8\text{ }^\circ\text{C}$,螺杆转速增至 41.5 r/min ,挤出速率为 96 m/h ,生产效率达 276.39 kg/h ,比未启动辅助加热装置时提高近 17.6% 。

3.2 自适应模糊 PDI 控制的效果

开启辅助加热装置,采用不同控制方法,在料筒加热过程中,其温度-时间变化曲线见图 4。

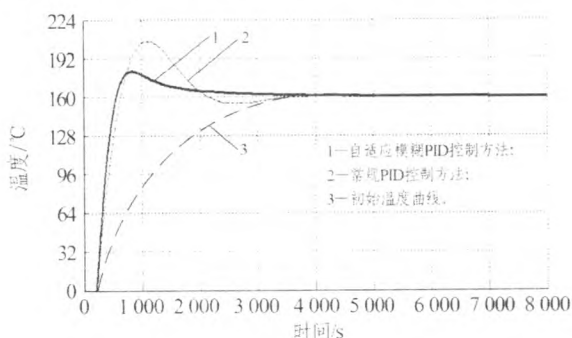


图 4 不同控制方法的料筒平均温度变化曲线

Fig. 4 Temperature-time curves of extruder barrel under different control conditions

从图 4 中可以看出,采用常规 PID 控制方法,通过手工测试得到最佳 PID 控制响应速度较快,但曲线超调量较大,进入稳态时间慢;而采用自适应模糊

PID 算法得到的控制曲线响应速度较常规 PID 方法提高近 5% ,超调量减小近 50% ,较快进入稳态,可满足木塑挤出机料筒温度精确控制的要求。

4 结语

为实现木塑挤出机温度的精确控制,在加热料筒处添加辅助加热装置,并设计一种自适应模糊 PID 控制系统,仿真结果表明,应用该系统可加快料筒的升温速度,解决了常规 PID 控制方法温度超调量大,导致材料流变、分解和焦化等问题,可在木塑挤出机的单机和生产线联机应用,保证系统的稳定性,提高木塑复合材料的生产效率及质量。

参考文献:

- [1] 王清文,欧荣贤.木质纤维材料的热塑性改性及塑性加工研究进展[J].林业科学,2011,47(6):133-142.
- [2] 肖页兴.胎面三复合挤出生产线挤出温度预测模型的研究[D].广东:华南理工大学,2012:11-32.
- [3] 牛培峰,任娟,王帅.PID型自适应模糊控制在锅炉主蒸汽温度控制中的仿真研究[J].热力发电,2008,37(6):24-27.
- [4] 王海青,姬长英,刘同召.模糊自整定PID温度控制系统的建模与仿真[J].计算机工程,2012,38(7):233-235.
- [5] 温显超,韩震宇.基于温度控制系统的模糊自整定PID算法设计[J].铸造技术,2011,32(3):369-372.
- [6] 彭炯,陈晋南.同向旋转双螺杆挤出机计量段中聚合物挤出的模拟[J].中国塑料,2001,15(7):39-42.
- [7] 王建,郭迪,陈晋南.数值模拟研究螺筒结构对单螺杆挤出机性能的影响[J].塑料科技,2012,40(10):74-78.

(责任编辑 向琴)

(上接第 17 页)

3 结论

1) 竹基纤维复合材料的热解过程呈现四个阶段,每个阶段对应不同的化学物理变化和热效应,其中 $200\sim 350\text{ }^\circ\text{C}$ 是材料热解的主要阶段,物质分解大量析出也集中在此阶段。

2) 经过 APP 处理,竹基纤维复合材料的分解过程提前,分解反应的起始温度下降, $300\text{ }^\circ\text{C}$ 之前失重速度增大,有利于阻燃碳层的快速形成,说明竹基纤维复合材料的阻燃性能得到改善。

3) 经过 APP 处理,竹基纤维复合材料的 HRR、THR、MLR 和 TSP 等,均比未处理对照试样降低;但 TSP 随 APP 质量分数的增加而增大,因此在使用 APP 阻燃剂时,应综合考虑各因素,确定适宜用量。

参考文献:

- [1] 于文吉.我国重组竹产业发展现状与趋势分析[J].木材工业,2012,26(1):11-14.
- [2] 于文吉,余养伦.我国林、竹重组材产业发展的现状与前景[J].木材工业,2013,27(1):5-8.
- [3] 祝荣先,周月,任丁华,等.制造工艺对竹基纤维复合材料性能的影响[J].木材工业,2011,25(3):1-3.
- [4] 刘姝君,储富祥,于文吉.聚磷酸处理竹基纤维复合材料的性能研究[J].木材工业,2013,27(3):5-9.
- [5] 王清文,李坚.用热分析法研究木材阻燃剂 FRW 的阻燃机理[J].林产化学与工业,2004,24(3):38-41.
- [6] Coats A W, Redfern J P. Kinetic parameters from thermogravimetric data[J]. Nature,1964,201(1):68-69.
- [7] 胡云楚.磷酸盐和聚磷酸铵在木材阻燃中的成炭作用和抑烟作用[D].长沙:中南林业科技大学,2006.
- [8] 王戈.毛竹-杉木层积复合材料及其性能[D].北京:中国林业科学研究院,2003.

(责任编辑 向琴)