

基于专家PID的挤塑机温度控制系统设计

陈文科¹, 刘 强², 王健雄¹

(1. 长沙民政职业技术学院 电子信息工程学院, 湖南长沙 410004; 2. 中南大学 机电工程学院, 湖南长沙 410083)

摘要: 提出了一种应用于挤塑机温度控制的专家比例积分微分(PID)控制, 设计了基于可编程逻辑控制器及工业以太网总线的多温区控制硬件结构, 并对控制系统进行了Matlab仿真分析和实验验证。结果表明: 与传统PID控制相比, 该控制系统的温度响应特性更优, 主要表现为超调量小、响应时间短、稳定性好。

关键词: 专家比例积分微分控制器 可编程逻辑控制器 工业以太网总线 挤塑机 控制系统

中图分类号: TQ 320; TP 273 文献标志码: B 文章编号: 1002-1396(2021)04-0044-03

Design for temperature control system of plastic extruder based on expert PID

Chen Wenke¹, Liu Qiang², Wang Jianxiong¹

(1. College of Electronic and Information Engineering, Changsha Social Work College, Changsha 410004, China;

2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: This paper presents an expert proportional-integral-derivative (PID) algorithm for temperature control of plastic extruders, which was used to design a multi-temperature zone control hardware structure based on programmable logic controller and PROFINET industrial Ethernet analog quantity bus. The Matlab simulation analysis and experimental verification of the control system were conducted as well. The results show that the temperature response characteristics of the control system are better than those of the traditional PID control system, which include as small overshoot, short response time and stability.

Keywords: expert proportional-integral-derivative controller; programmable logic controller; industrial Ethernet analog quantity bus; plastic extruder; control system

塑料广泛应用在工业、农业、化工等多个行业, 通常采用挤塑机进行加工^[1-2]。在挤塑机工作过程中, 温度控制效果与产品质量及设备使用寿命密切相关。根据塑料挤出工艺要求, 挤塑机的机头和料筒需要保持在合适的温度。温度过低的典型影响是负载增大, 使驱动系统处于重载状态, 降低挤塑机使用寿命。温度过高的典型影响是物料热降解或局部热降解, 难以保障塑料制品质量。目前, 挤塑机多以传统比例积分微分(PID)控制温度, 具有算法成熟、应用广泛、易于实现等优点; 但传统PID参数是工程技术人员离线整定, 在算法运行过程中不能及时更新, 难以满足具有非线性、时变性特征的挤塑机温度响应要求^[3-5]。为改善传统PID控制的运行效果, 本工作设计了一种基于可编程逻辑控制器(PLC)及工业以太网

(PROFINET)总线的挤塑机温度控制结构, 通过专家经验建立规则优化PID参数, 以改善系统的输出响应特性。

1 控制系统总体结构

挤塑机主要由传动机构、挤压机构及加热冷却机构组成, 其中, 加热冷却机构用以实现挤塑机温度控制。挤塑机的典型结构见图1。

挤塑机的料筒和机头分布有多个温区, 通过电加热装置和风冷装置协同工作, 保证各温区温

收稿日期: 2021-01-28; 修回日期: 2021-04-27。

作者简介: 陈文科, 男, 1986年生, 硕士, 工程师, 讲师, 2011年毕业于湖南大学控制科学与工程专业, 研究方向为智能控制技术。E-mail: cwk861211@163.com。

基金项目: 湖南省教育厅科学研究项目(18C1804)。

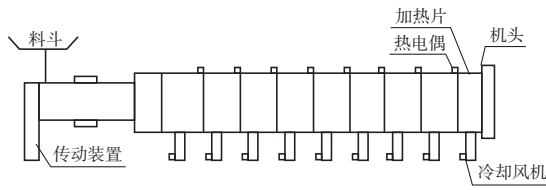


图1 挤塑机的结构示意图

Fig.1 Structure of plastic extruder

度符合工艺要求。传统挤塑机温度控制结构中，采用输入输出点数较多的大型PLC来实现挤塑机多温区温度控制，一定程度上提高了控制成本。本工作设计了一种基于PLC+PROFINET总线的挤塑机温度控制系统，其结构见图2。该系统由控制核心S7-1200型PLC、温度传感器、PROFINET模拟量输入(AI)、PROFINET数字量输出(DO)、人机界面(HMI)等组成。系统的PROFINET总线结构简化了控制系统硬件线路，具有拓展方便、维护维修简单的优势。工作过程如下：使用HMI设定机筒和机头各温区温度后，PLC借助PROFINET DO控制加热器工作，并借助各温区PROFINET AI获取温度传感器所检测到的温区温度信息，将HMI的温区温度设定值与各温区测量温度比对，PLC采用专家PID调节加热器及冷却装置，以确保实际温度与设定温度一致。

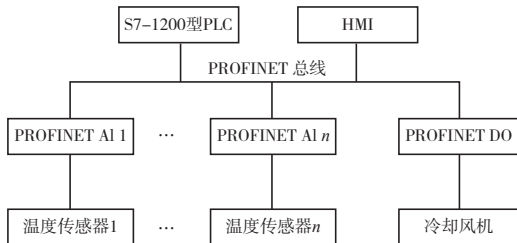


图2 控制系统结构示意图

Fig.2 Structure of control system

2 专家PID温度控制

PID控制是一种结构简单、易于工程化的经典闭环控制算法，常用于控制温度、压力、流量等过程量信号。PID控制时域数学模型见式(1)，该式为典型的线性控制算法，其输出为对偏差进行比例、微分、积分计算后的加权求和值。

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

式中： $u(t)$ 表示输出； K_p 、 K_i 、 K_d 分别表示比例系数、微分系数、积分系数； $e(t)$ 表示偏差。

挤塑机温度控制系统属于典型的非线性、大

滞后系统，采用传统PID控制难以获取理想的响应。针对非线性控制系统，PID控制的不足之处在于比例、积分、微分参数由工程技术人员根据被控系统模型和经验整定而来，且为离线调整，不能根据系统的变化实时调整^[6]。基于此，本工作结合专家控制经验与PID控制，提出了专家PID控制，见图3。

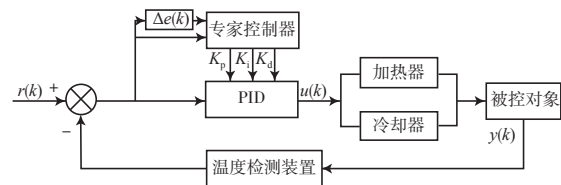


图3 专家PID控制

Fig.3 Expert PID control

注： $\Delta e(k)$ 表示温度偏差变化率； $r(k)$ 表示输入温度， $^{\circ}\text{C}$ ； $u(k)$ 表示输出控制信号； $y(k)$ 表示反馈温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

与传统PID控制相比，专家PID控制根据现场温度偏差及温度偏差变化率实时调整优化PID控制参数，其参数优化规则是根据专家工程经验制定，一定程度上符合挤塑机温度控制要求。具体参数优化规则如下^[7-8]：

(1) 若 $|e(k)| \geq \text{Max}_1$ ，此时 $|e(k)|$ 非常大，应该取较大的 K_p （根据所用的设备，此处为基础值的5.0倍）， K_d 较小， $K_i=0$ 。

(2) 若误差绝对值中间值 $\text{Max}_2 \leq |e(k)|$ ， $e(k) \times \Delta e(k) > 0$ ，此时 $e(k)$ 仍然较大，应该增大 K_p ，保持 K_i 、 K_d 不变。

(3) 若 $\text{Max}_2 > |e(k)|$ ， $e(k) \times \Delta e(k) > 0$ ，此时 $|e(k)|$ 大，但 $e(k)$ 不大，保持 K_p 、 K_i 、 K_d 不变。

(4) 若 $e(k) \times \Delta e(k) < 0$ ， $\Delta e(k) \times \Delta e(k) < 0$ 且 $\text{Max}_2 > |e(k)|$ ，此时 $e(k)$ 处于拐点， $e(k)$ 比较小，应该取较小 K_p （根据所用的设备，此处为基础值的0.6倍），使 $K_i=0$ ， $K_d=0$ 。

(5) 若 $e(k) \times \Delta e(k) < 0$ ， $\Delta e(k) \times \Delta e(k-1) < 0$ 且 $\text{Max}_2 > |e(k)|$ ，此时 $e(k)$ 处于拐点， $e(k)$ 比较大，应该取较大 K_p （根据所用的设备，此处为基础值的3.0倍），使 $K_i=0$ ， $K_d=0$ 。

(6) 若 $|e(k)| < \varepsilon$ ，此时保持 K_p 、 K_i 不变，使 $K_d=0$ 。

其中， $0 < \text{Max}_2 < \text{Max}_1$ ， ε 为很小的正数。

3 仿真及实验结果

挤塑机温度控制系统具有时变性、非线性和滞后性，其数学模型见式(2)。

$$G(s) = \frac{Ke^{-\tau s}}{Ts+1} \quad (2)$$

式中： K 表示稳态增益； τ 表示滞后时间； T 表示惯性常数； $G(s)$ ， s 分别表示拉氏变换的通用输出和变量。

采用Matlab软件搭建了仿真模型，并展开阶跃输入的仿真，输出曲线见图4。从图4看出：传统PID控制和专家PID控制的上升时间（指响应曲线从零时刻到首次达到稳态值的时间）分别为0.100, 0.075 s；超调量分别为30%, 0；稳定时间分别为0.10, 0.35 s。显然，专家PID控制在响应速度、超调量和温度稳定速度等方面优于传统PID控制。

为进一步验证基于专家PID的挤塑机温度控制算法的优越性，分别在硬件核心S7-1200型PLC中载入传统PID控制和专家PID控制程序，并通过上位机截取系统运行1 h的数据进行分析，从8:00开始每10 min记录一次各温区温度，共计6组数据。根据工艺要求，分别将料筒温区1~料筒温区4

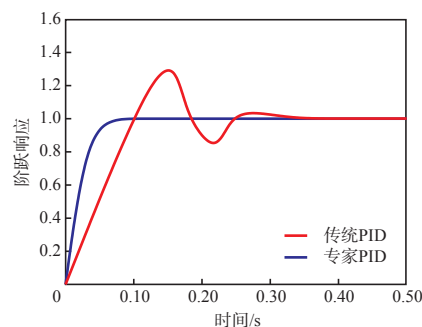


图4 仿真结果

Fig.4 Simulation results

和机头温区目标温度设定为150.0, 158.0, 170.0, 175.0, 185.0 °C。根据表1可计算传统PID控制的料筒温区1~料筒温区4及机头温区的平均绝对误差分别为1.5, 1.6, 1.8, 1.9, 1.9 °C；专家PID控制的料筒温区1~料筒温区4及机头温区的平均绝对误差分别为0.5, 0.6, 0.8, 0.8, 0.9 °C。这表明专家PID控制系统偏差值小，温度稳定性更佳，满足挤塑机对各温区的温度控制要求。

表1 传统PID控制与专家PID控制的实验数据

Tab.1 Experimental data of traditional PID and Expert PID

项 目		°C					
		8: 10	8: 20	8: 30	8: 40	8: 50	9: 00
传统PID控制	料筒温区1	151.3	151.5	149.0	148.6	151.7	152.1
	料筒温区2	159.5	159.8	157.1	156.4	159.7	160.1
	料筒温区3	172.1	172.6	168.5	168.8	167.5	169.1
	料筒温区4	177.2	177.5	173.8	174.0	172.4	173.2
	机头温区	187.1	187.4	183.6	184.2	182.9	182.5
专家PID控制	料筒温区1	150.6	150.3	149.6	148.9	150.5	150.2
	料筒温区2	158.7	158.4	157.4	156.8	157.5	158.4
	料筒温区3	170.8	170.6	169.6	168.8	169.2	170.7
	料筒温区4	175.9	175.7	174.5	173.7	174.2	175.5
	机头温区	186.0	185.8	184.3	183.8	184.3	185.9

4 结论

a) 针对挤塑机温度控制系统的非线性、滞后性，设计了一种基于专家PID控制的挤塑机温度控制系统。

b) 与传统PID控制相比，专家PID控制具有温度响应快、超调量小、稳定性好的优点。

c) 专家PID控制的PROFINET总线结构简化了控制系统硬件线路，具有拓展方便、维护维修简单的优势。

5 参考文献

[1] 张还. 基于PLC和智能温控表的挤塑机温度控制系统设计[J]. 工程塑料应用, 2010, 38(1): 76-79.

[2] 李月英, 齐仁龙. 基于PID算法的挤塑机温度控制系统研究[J]. 合成树脂及塑料, 2016, 33(6): 59-62.
 [3] 郑睿, 汪东芳. 双螺杆挤出机温度控制系统的设计与优化[J]. 合成树脂及塑料, 2016, 33(4): 55-59.
 [4] 杨桂府, 杨扬. 基于PLC的挤塑机温度控制系统设计[J]. 塑料科技, 2019, 47(3): 88-90.
 [5] 刘丹. 挤塑机智能温度控制系统的研究[J]. 塑料工业, 2017, 45(5): 61-64.
 [6] 李幸, 周凤星, 严保康. 基于综合滤波算法与模糊PID控制的温度控制系统[J]. 仪表技术与传感器, 2019(3): 77-81.
 [7] 王建平, 赵婵娟. 基于PLC的专家PID控制算法在精密压药液压机控制系统中的应用[J]. 化工自动化及仪表, 2016, 43(6): 579-583.
 [8] 史敬灼, 刘玉. 超声电机简单专家PID速度控制[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(36): 120-125.