

文章编号 : 0253-9721 (2006) 08-0037-05

基于自校正 PID 的加弹机温控器

李培玉, 谭大鹏, 陈俊伟, 姚国春, 张鹏

(浙江大学 机械与能源工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要 针对加弹机温控系统通道数目多、精度要求高、影响因素复杂等问题, 在对当前温度控制所采用的方法进行广泛调研的基础上, 提出了一种基于自校正 PID 控制技术的加弹机温控方法。分析了加弹机温度控制的特殊性, 阐述了现有温度控制的一般处理方法及存在的问题, 并指出自校正 PID 控制技术的优势。运用热力学方程建立温控对象的离散数学模型, 并对模型参数辨识进行了深入探讨, 利用极点配置方法设计了温控器, 给出了加弹机温控系统的实施方案。工业现场实验证明该系统实用有效, 精度满足要求。

关键词 PID 控制; 自校正; 极点配置; 温度控制; 加弹机

中图分类号: TP13 文献标识码: A

Temperature controller based on self-turning PID for texturing machine

LI Pei-yu, TAN Da-peng, CHEN Jun-wei, YAO Guo-chun, ZHANG Peng

(College of Mechanical and Energy Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China)

Abstract In allusion to such problems of texturing machine temperature control system as large numbers of control channel, high precision demand, complex influencing factor etc., a temperature control method based on self-turning PID for texturing machine was put forward after making an extensive investigation of the available methods used for temperature control. The trait of texturing machine heating chest was presented; the present temperature control methods were expounded along with the existing problems and the superiority of self-turning PID control was emphasized. Discrete mathematics model was established by the way of the thermodynamics formula, and its model parameters' recognition was discussed. The design method of pole placement controller was described and implementation scheme for texturing machine was given. Commercial trials have proved that this temperature control system is satisfactory, and can reach the required control precision.

Key words PID control; self-turning; pole placement; temperature control; texturing machine

加弹机是一种生产涤纶长丝的拉伸变形机, 它能对纤维进行牵伸假捻处理。普通纤维经加弹机处理就变成了具有高弹力的纤维。在加弹机中, 恒温箱温度是一个重要的控制对象。温度的控制精度对捻丝的卷曲程度、染色均匀率和沸水收缩率等质量指标有极大影响。加弹机温控系统一个最大的特点就是它同时控制的通道数目多, 温度的控制精度要求也较高。由于纤维材料的吸热能力、通过速度、环境温度、加热管功率都会给温控带来较大影响^[1], 利用传统的温控方法难以达到比较理想的控制效果。

因此, 开发一种易于实现、控制精度高、实时性好的加弹机温控系统非常有必要。

1 温度控制概述

1.1 传统的温控模型

温度控制是工业控制的主要对象之一, 其控制对象很多, 且不尽相同。最常用的温控数学模型是一阶惯性加纯滞后环节, 但其随着加热对象和环境条件的不同, 会存在较大的差异^[2]。工业生产中的

收稿日期: 2005-10-29

修回日期: 2006-04-14

作者简介: 李培玉(1966-), 男, 副教授。主要研究方向为嵌入式系统、工业检测。谭大鹏, 通讯作者, E-mail: tdp_2003@zju.edu.cn。

温控对象较为普遍的特点是它们大都含有纯滞后环节,容易引起系统超调和持续的振荡,温度控制对象的参数一般会发生幅度较大的变化。所以这种温控方法很难达到比较高的控制精度。

1.2 PID 温度控制

PID 控制器是一种线性控制器,它根据给定值与实际输出值构成的控制偏差,将偏差的比例(P)、积分(I)和微分(D)通过线性组合构成控制量,对被控对象进行控制。实际运行效果和理论分析表明,这种控制规律在相当多的工业生产中得到比较满意的结果,其优点主要体现在 2 个方面:1)原理简单,实现方便,是一种能够满足大多数实际需要的基本控制器;2)控制器可适用于多种不同的对象,算法在结构上具有较强的鲁棒性^[3,4]。

现有的 PID 控制方式主要有模拟和数字 2 种。其中数字式 PID 控制易于通过计算机实现,具备灵活性好、成本低、性能可靠的特点,能够使温控水平达到高精度和智能化。

自适应控制是解决非线性、时变过程的一种行之有效的方法。自校正 PID 控制方法综合了自适应和 PID 控制的优点,这种控制方法需要整定的参数少,能够根据系统参数的变化在线调整控制器参数。另外,通过适当的极点配置,还可以改善调速系统的动态特性。由于自校正 PID 控制方法较带有极点配置的广义最小方差控制计算量小,便于实时控制,而且在工业过程控制中已经得到成功应用^[5],因此,本文采用自校正 PID 控制方法来设计加弹机的温控系统。

2 加弹机温控器的设计

2.1 温控对象数学模型

加弹机的工作流程如图 1 所示,一束纤维经过一系列机构之后进入恒温箱,经恒温箱的烘烤并在张力机构的控制下产生拉伸变形,纤维穿过加热管后又经卷取机构将其卷成丝饼。

为了便于分析,将恒温箱热力学原理图简化,见图 2。

图 2 中 1、2、3 分别代表空气室、保温层和外界空气; T_1 、 T_2 、 T_3 分别为空气室、保温层和外界空气温度; c_1 、 c_2 、 c_3 分别为三者的比热; Q 为输入的热功率; Q_2 、 Q_3 为空气层传给保温层和保温层传给外界空气的传热量。根据传热学原理有:

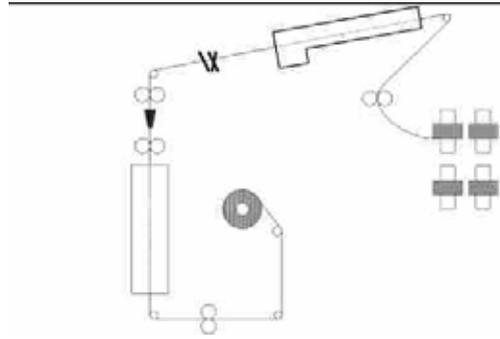


图 1 加弹机工作流程图

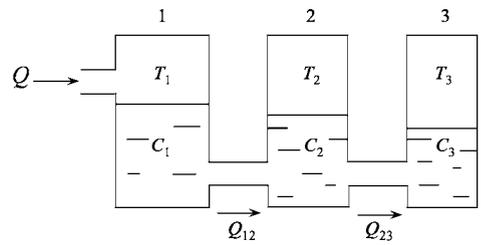


图 2 加弹机恒温箱热力学原理图

$$Q - Q_2 = c_1 m_1 \frac{dT_1}{dt} \tag{1}$$

$$Q_2 = K_{12} A_1 (T_1 - T_2) \tag{2}$$

$$Q_2 - Q_3 = c_2 m_2 \frac{dT_2}{dt} \tag{3}$$

$$Q_3 = K_{23} A_2 (T_2 - T_3) \tag{4}$$

式中, K_{12} 、 K_{23} 为传热系数; m_1 、 m_2 为空气室和保温介质的质量; A_1 、 A_2 为传热面积。因 $c_1 m_1$ 、 $c_2 m_2$ 、 $K_{12} A_1$ 、 $K_{23} A_2$ 为常数,所以仍将它们分别记为 c_1 、 c_2 、 K_{12} 、 K_{23} 。输入量为 Q ,输出量为 T_1 ,且 T_3 为常数^[6]。经过整理得到其传递函数的表达式:

$$G(s) = \frac{G(T_1)}{G(Q)} = \frac{K(T_4 s + 1)}{T_5^2 s^2 + 2 \xi T_5 s + 1} \tag{5}$$

式中, $K = \frac{K_{12} + K_{23}}{K_{12} K_{23}}$; $T_5^2 = \frac{c_1 c_2}{K_{12} K_{23}}$; $T_4 = \frac{c_2}{K_{12} K_{23}}$;

$$\xi = \frac{1}{2} \frac{c_1 K_{12} + c_1 K_{23} + c_2 K_{12}}{\sqrt{K_{12} K_{23} c_1 c_2}}$$

其差分模型的表达式为

$$y(k) + a_1 y(k-1) + a_2 y(k-2) = b_0 u(k-d) + b_1 u(k-d-1) + e(t) \tag{6}$$

式中, d 为系统滞后的采样周期数。显然恒温箱温度控制属于 SISO 系统,根据式(6)可确定其控制框图,见图 3。

2.2 系统模型系数辨识

模型建立起来以后,需要对所涉及的系数进行

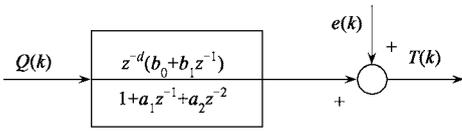


图 3 温控对象控制框图

辨识。为了减少计算机的运算负荷,本文采用递推最小二乘算法。根据控制对象的特征,经过递推辨识,得到系统的闭环辨识控制框图,见图 4。

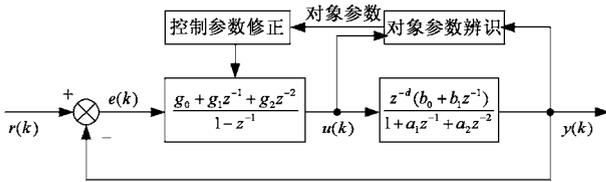


图 4 闭环辨识控制框图

该数字 PID 控制器的 Z 传递函数为

$$G(z) = \frac{1}{1 - z^{-1}} [K_p(1 - z^{-1}) + K_i + K_d(1 - z^{-1})^2] \quad (7)$$

式[7]可简化为

$$G(z) = (g_0 + g_1 z^{-1} + g_2 z^{-2}) / (1 - z^{-1}) \quad (8)$$

式中, $g_0 = K_p + K_p T / T_1 + K_p T_D / T$; $g_1 = - [K_p + (2 K_p T_D / T)]$; $g_2 = K_p T_D / T$ 。

可以看出 PID 控制是一个二阶控制,其阶数等于温控对象的阶数,因而满足系统闭环辨识条件。

2.3 极点配置设计方法

加弹机温控系统的自校正算法将采用极点配置的设计方法。极点配置自校正器是基于常规控制策略的自校正器。极点配置自校正 PID 控制器设计的一般步骤:1)确定期望系统闭环极点位置;2)在线估计 辨识系统参数;3)计算控制器参数;4)计算控制率^[7]。

因为系统的阶数为 2,所以其闭环传递函数为

$$\frac{y(k)}{r(k)} = \frac{g_0(1 + g_1' z^{-1} + g_2' z^{-2})}{(1 - z^{-1})(1 + f_1' z^{-1})} \cdot \frac{z^{-d} \cdot b_0 \left| 1 + \frac{b_1}{b_0} z^{-1} \right|}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}$$

$$1 + \frac{g_0(1 + g_1' z^{-1} + g_2' z^{-2})}{(1 - z^{-1})(1 + f_1' z^{-1})} \cdot \frac{z^{-d} \cdot b_0 \left| 1 + \frac{b_1}{b_0} z^{-1} \right|}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} \quad (9)$$

由式(5)可知,控制对象传递函数的零点在根平面左半平面($T_d > 0$),所以它属于最小相位系统。对于最小相位系统,可令

$$1 + g_1' z^{-1} + g_2' z^{-2} = 1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}$$

$$1 + \frac{b_1}{b_0} z^{-1} = 1 + f_1' z^{-1}$$

则 $g_2' = a_2, g_1' = a_1, f_1' = \frac{b_1}{b_0}$ 。

这样就建立了对象参数和控制器参数之间的关系式,则有:

$$G(z) = \frac{g_0(1 + g_1' z^{-1} + g_2' z^{-2})}{(1 - z^{-1})(1 + f_1' z^{-1})}$$

$$= \frac{g_0(1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2})}{(1 - z^{-1}) \left| 1 + \frac{b_1}{b_0} z^{-1} \right|} \quad (10)$$

$$u(k) = u(k - 1) + g_0 e(k) + g_0 \hat{a}_1 e(k - 1) + g_0 \hat{a}_2 e(k - 2) + \frac{\hat{b}_1}{b_0} [u(k - 2) - u(k - 1)] \quad (11)$$

式中, $\hat{a}_1, \hat{a}_2, \hat{b}_0, \hat{b}_1$ 为通过在线辨识的系统参数。故而,PID的控制参数就会随着控制对象参数的变化而变化。

3 温控系统设计

3.1 系统组成

与一般的工业温度控制器相比,加弹机温控器具有控制点数多的特点。这就要求控制器具有多路选择和多路数字输出的能力。电路上采用多个模拟开关芯片组成 120 路的通道选择,而在数字输出上采用 5 片 8255 扩展成为 120 路的数字输出。MPU 则完成通道的选择切换、温度的计算及显示、按键中断处理以及数字输出等功能。温控器系统硬件由选通输入部分、放大部分、模数转换部分、键盘显示部分、液晶显示部分、中央控制处理部分、I/O 扩展部分、功率放大部分等组成,加弹温控系统的结构图如图 5 所示。

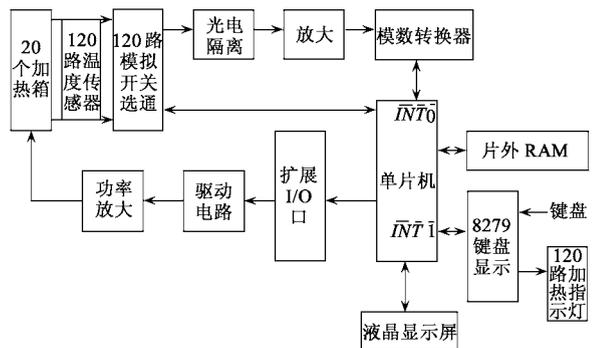


图 5 加弹机温控系统结构图

3.2 抗干扰设计

根据对加弹机工作环境的调查分析,发现系统所受的干扰主要是:电源引入的干扰;信号线引入的干扰;地线的干扰。针对以上干扰源可以从两方面加以解决:一是从硬件设计上采取必要的抗干扰措施,如光电隔离等技术;二是从软件上作一些优化,使之具备一定的容错机制。因此系统软件自检程序的设计将根据自身的特点进行编制,它采用了“看门狗”软件技术,即利用中断程序监视另一中断程序以及主程序的运行状况,而完成监视功能的中断程序则由硬件“看门狗”来监控。这种软硬结合、相互依存、相互制约的抗干扰方法,将使系统运行的可靠性大大提高,监控流程如图 6 所示。

4 实验结果分析

4.1 参数的辨识结果

为了克服数据饱和现象,在系统参数辨识的处理过程中引入了遗忘因子,以较快地跟踪模型参数

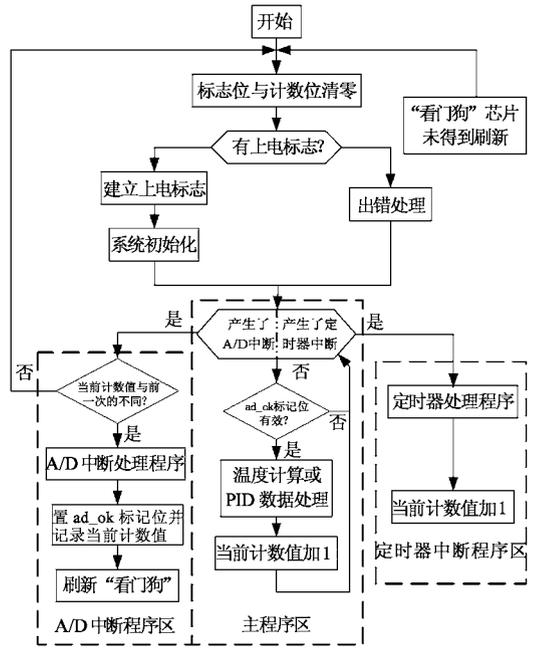


图 6 监控程序流程图

的变化,缩短过渡过程^[8]。按照递推最小二乘法进行仿真计算,得到的系统参数 a_1 、 a_2 、 b_0 、 b_1 的辨识结果如表 1 所示,其中 K 为数据长度。

表 1 递推最小二乘法的辨识结果

| | a_1 | | a_2 | | b_0 | | b_1 | |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | $K < 150$ | $K > 150$ |
| 真值 | -1.5 | -1.05 | 0.7 | 0.49 | 0.1 | 0.07 | 0.005 | 0.003 5 |
| 估计值 | -1.494 3 | -1.053 4 | 0.693 7 | 0.494 7 | 0.099 1 | 0.006 97 | 0.005 6 | 0.003 8 |

4.2 系统验证

为了进一步验证自校正 PID 控制的优越性与有效性,在实验室中利用电加热装置做了普通 PID 算法与自校正 PID 算法的控制效果对比实验。

验证实验中采用 300 W 的电加热杯,盛满室温的水加热,将温度传感器浸没在水中。实验初始阶段采用普通 PID 算法,在 t_1 时刻将加热杯中的水倒去大半以达到改变控制对象的目的,此时仍采用普通 PID 控制算法。经过一段时间之后,在 t_2 时刻将控制算法转换为自校正 PID 算法,以对比 2 种算法的控制效果。该实验所有数据均由单片机通过串行口传至计算机,再由数据处理程序将其录入到数据库中。图 7 为控制效果对比图,从图中可清楚的看到采用自校正 PID 控制以后,温控精度有了很大的提高。

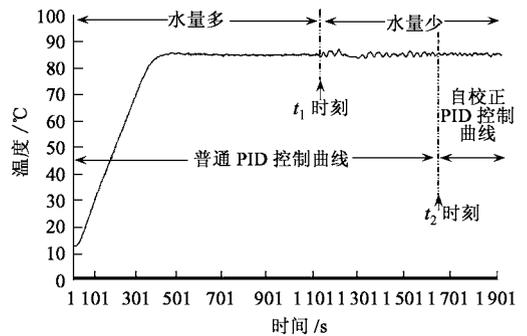


图 7 控制效果对比图

5 结束语

在对数字 PID 控制技术进行研究的基础上,提出了基于自校正 PID 技术的加弹机恒温控制方法,对系统模型辨识以及极点配置做了深入探讨,并对系 (下转第 48 页)

(上接第 40 页)

统实现进行了相关描述,实验结果证明了该系统的有效性,工业现场应用也取得了良好的效果。但由于工业环境(车间温度、电气干扰等)的不确定性,有必要通过相应的冗余措施来增加系统的稳定性和容错能力,同时系统的抗干扰设计处理流程以及异常处理机制还需要进一步的优化与改进。 FZXB

参考文献:

- [1] 鄢来朋,陈宗农,朱新杰.基于 PLC 的加弹机控制系统研究[J].纺织学报,2005,26(2):133-135.
- [2] 李成华,杨世凤,袁洪印.机电一体化技术[M].北京:中国农业大学出版社,2001.

- [3] 熊静琪.计算机控制技术[M].北京:电子工业出版社,2003.
- [4] 叶景楼.自校正 PID 方法在水轮发电机调速系统中的应用[J].电工技术学报,2002,17(4):53-56.
- [5] 陶永华.新型 PID 控制及其应用[M].北京:机械工业出版社,2003.
- [6] 吴华昌,邓静,周健.双水相体系热力学模型的应用[J].四川理工学院学报(自然科学版),2005,18(1):74-78.
- [7] 杨智.工业自整定 PID 调节器关键设计综述[J].化工自动化及仪表,2000,27(2):5-10.
- [8] 冯子龙,刘健,刘开周.AUV 自主导航航位推算算法的研究[J].机器人,2005,27(2):168-172.