

大时滞温度控制系统

王兆祥

(自动化系)

摘 要

本文介绍了温度控制试验系统的结构、控制方案、闭环阶跃响应曲线和主要技术数据。

主题词: 计算机闭环控制; 大时滞; 信息传输滞后; 软件补偿

0 前 言

所谓时滞,是指系统各个变数之间的关系不能用这些变数在同一时刻 t 的值的关系来表示,相反,这个关系牵涉到某些变数在时刻 t 的值,同时也牵涉到某些变数在时刻 $t \sim \tau$ 时的值。在时刻 $t \sim \tau$ 取值的变数与那些在时刻 t 取值的变数比较,在时间上的差异就是时滞 τ 。

在测量高温时,由于传感器管壁很厚,再加上管中的空气层传热很慢,被测对象(温度)发生的变化传到管中感受元件并使其参数发生相应变化需要一段时间 τ ,其值有时有几分钟之久。也就是说,传感器在 t 时刻的参数值所对应的温度是在 $t \sim \tau$ 时刻的值。这种信息滞后对控制系统造成极不利的影响。如玻璃制品生产过程中,玻璃液料道温度(1000摄氏度以上)控制系统由于时滞的存在,扰动不能及时觉察,常常使调节作用与扰动失步,造成系统不稳定。用常规仪表组成的玻璃液料道温度控制系统稳定性很差,稳态偏差在20摄氏度以上,长期振荡,从而影响产品质量。1986年,常州玻璃总厂从西德引进一套高稳定性计算机控制系统,稳态偏差为正负1摄氏度,使产品质量得到保证,但用去外汇30万美元之巨。由此可见,研制国产高稳定性大时滞温度控制系统的紧迫性是不言而喻的。研制这些系统要解决的关键问题是克服大时滞的影响,本试验系统就是为研究和克服这种影响而设计的。

1 试验系统结构

本试验系统以TP801单板机为核心,输入通道的模数转换用ADC0809,被控对象为电热杯水温,用大时滞热电阻传感器(τ 值约为5分钟)测量水温,由电阻式温度变送器将温度传感器信息转变为0~10毫安电流值并送到输入通道,转换为可供计算机使用的数字量。输出通道的数模转换用一片DAC0832,将0~255共256个数字量转换成模拟量0~5伏直流电压,并控制双向可控硅的导通角,以改变电热杯的输入电压,控制电热杯水温。输出显示利

用TP801的6个7段数码管作定点显示, 前4位为整数, 后2位为小数。结构示意图如图1所示。

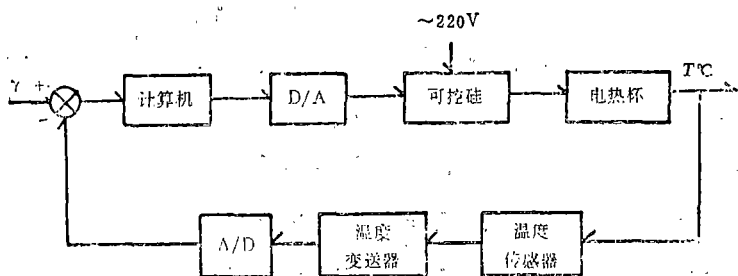


图1 系统结构示意图

2 时滞系统的物理性能和控制方案

盛有水的电热杯与传感器组成一个高阶系统, 但可用一个时滞系统近似^[1], 这已被本试验所证实。

在许多计算机控制技术著作中, 大多用简洁的传递函数(简称传函) $G(S)e^{-\tau s}$ 描述有时滞系统的物理特性^[2], 其中 $G(S)$ 为无时滞对象传函, $e^{-\tau s}$ 为滞后环节传函。滞后环节 $e^{-\tau s}$ 使调节系统品质变坏。为了克服时滞带来的不利影响, 常用滞后补偿来校正, 即在调节器(或被控对象)两端并联一个补偿装置, 其传函为 $W(S)$ 。此时系统传函如图2所示($D(S)$ 为调节器传函)。

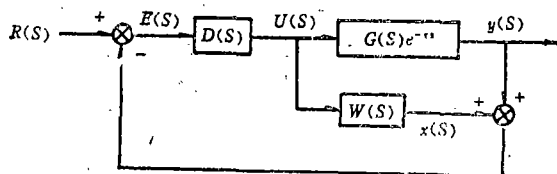


图2 有补偿的控制系统

要求经补偿后的系统与无时滞系统性能相同, 即 $G(S)e^{-\tau s} + W(S) = G(S)$, 当 $W(S) = G(S)(1 - e^{-\tau s})$ 时在理想情况下可基本消除时滞的影响。如果补偿器输出为 $X(S)$, 则偏差函数传函为: $E(S) = R(S) - Y(S) - X(S)$ 。在计算机控制系统中, 补偿器也是用计算机软件来实现的。用计算机算出 W 的输出 $x(t)$, 以不失适时性, 由 $W(S)$ 表达式可知, 选用的模型 $G(S)$ 及 τ 值与实际系统的近似程度影响补偿效果, 一般都需要实测对象的性能, 再选用一个适当的较接近实际系统的模型(系统辨识)。

为了计算补偿器的输出, 用 $1/[(\tau \cdot s/2) + 1]^2$ 近似 $e^{-\tau s}$, 这时补偿器传函为

$$W(s) = G(s) \left\{ 1 - \frac{1}{[(\tau \cdot s/2) + 1]^2} \right\} = G(s) \left\{ 1 - \frac{1}{[(\tau \cdot s/2) + 1][(\tau \cdot s/2) + 1]} \right\}$$

由此可得近似方框图(见图3)。

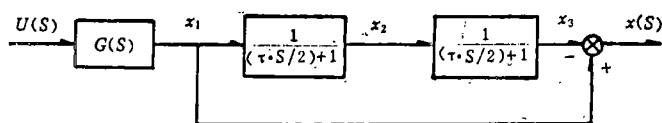


图3 补偿器框图

$x(s) = x_1(s) - x_3(s)$, 差分方程为 $x(k) = x_1(k) - x_3(k)$

$1/(\tau/2s + 1)$ 第一框差分方程为: $x_2(k) = bx_1(k) + ax_2(k-1)$

第二框差分方程为: $x_3(k) = bx_2(k) + ax_3(k-1)$

其中
$$a = \frac{\tau}{\tau + 2T}, \quad b = \frac{2T}{\tau + 2T}$$

当 $G(S)$ 用一阶系统近似时, $G(S) = 1/(T_o S + 1)$

差分方程为: $x_1(k) = bu(k) + ax_1(k-1)$

其中:
$$b = \frac{T}{T + T_o}, \quad a = \frac{T_o}{T_o + T}$$

当 $G(S)$ 用二阶系统近似时,
$$G(S) = \frac{1}{(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)}$$

其差分方程为: $x_1(k) = b_1 u(k) + a_1 x_1(k-1) + x_1 a_2(k-2)$

其中:
$$b_1 = \frac{T^2}{T_1 T_2 + (T_1 + T_2)T + T^2}$$

$$a_1 = \frac{2T_1 T_2 + (T_1 + T_2)T}{T_1 T_2 + (T_1 + T_2)T + T^2}$$

$$a_2 = \frac{T_1 T_2}{T_1 T_2 + (T_1 + T_2)T + T^2}$$

T 为采样周期, T_o 、 T_1 、 T_2 为时间常数, $x_1(k)$ 为 $G(S)$ 当前输出值, $x_1(k-1)$ 为 $G(S)$ 前次输出值, $x_1(k-2)$ 为 $G(S)$ 前前次输出值。

$G(S)$ 究竟用一阶系统还是二阶系统来近似, 要视对象结构的物理特性而定。

对于一个实际系统, 差分方程的参数都须通过实验来确定(系统辨识)。

控制量是状态变量的函数, 笔者在设计试验系统时参考了现代控制理论的一些设想和研究成果, 但仍然选用了古典的PID调节器, 位置式算法(见图4)。目的是希望得到较优良的综合性能指标, 稳态偏差小, 加热速度快, 超调量小。为了得到较理想的控制效果, 对模数转换芯片ADC0809的灵敏度进行了扩展(这是提高采样精度所必须的)^[3]并充分运用了计算机的判断功能和灵活性。既了解被控对象的物理性能和特点, 又了解控制设备的功能并充分发挥其作用, 是设计优良控制系统的必备基础。

系统程序框图见图4所示。

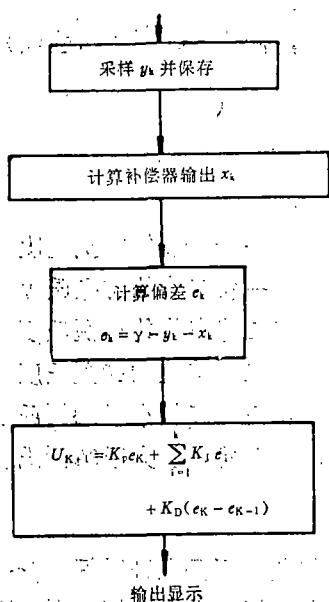


图 4 程序框图

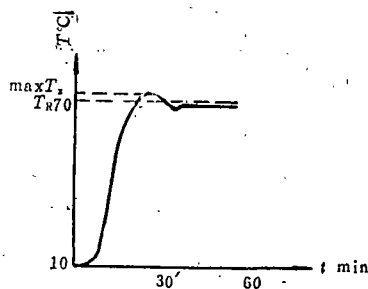


图 5 大时滞温度控制系统, 闭环阶跃响应
 $\max T_x$ ——第一峰值 $<71.4^\circ\text{C}$; T_R ——设定值
 70°C ; 当玻璃温度计上升到接近 70°C 时, 采样
 值为 58°C 左右

K_P ——比例增益; K_I ——积分增益; K_D ——微分增益

3 试验结果分析

根据采样记录绘制而成的恒温控制(也即闭环阶跃响应)曲线如图 5。

重要数据和技术指标如下:

采样范围 $0\sim 102^\circ\text{C}$

设定值为 70°C

稳态偏差: 绝对偏差 $<0.5^\circ\text{C}$

相对偏差 $<0.5\%$

$$\text{相对偏差} = \frac{\text{稳态绝对偏差}}{\text{量程}} \times 100\%$$

$$\text{超调量 } \delta < 2\% \quad \delta = \frac{\text{最大偏差}}{\text{设定值}} \times 100\%$$

加热速率接近开环加最大控制量时的加热速率。

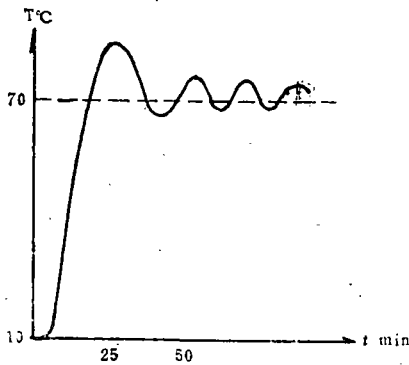
开环加最大控制量对电热杯内的水加热, 用玻璃温度计测量水温, 室温的水(约 9°C)上升到 70°C 需 13 分钟(未考虑玻璃温度计滞); 作闭环试验时, 室温的水加热到 70°C 约需 14~15 分钟, 两者是很接近的。

试验结果表明, 以上性能指标已不低于无时滞系统的通用标准。试验系统已克服了大时滞的影响, 为设计高稳定性大时滞温度控制系统扫除了障碍, 将使这类工业生产过程(有高温的控制过程)有性能优良的国产控制系统。以上技术指标是经多次试验测得的。

反复多次的试验结果都表明, 系统的稳定性很好, 动态性能尤佳, 在无时滞的系统中也

不易得到。

笔者用无补偿功能的控制程序对试验系统作了同样试验,测得的数据绘制曲线如图6所示。



第一峰点值约82摄氏度
第一谷点值约67摄氏度
第二峰点值约74摄氏度
第二谷点值约68摄氏度
第三峰点值小于73摄氏度
第三谷点值大于68摄氏度

图6 无补偿功能时间闭环阶跃响应

无补偿功能的稳态偏差为2~3%,超调量接近20%,整定时间是上升时间的5~6倍,而有补偿功能时的稳态偏差小于0.5%,超调量小于2%,整定时间与上升时间相同。两者相比较性能优劣相差甚远,而且实际情况比测得的性能还要差得多。由于传感器时滞的存在,被控对象的最大偏差值有时滞的传感器是无法测到的,笔者用玻璃温度计测量观察,并将玻璃温度计本身的时滞也考虑在内,发现本试验所使用的大时滞传感器能测到的最大偏差值仅为实际最大偏差值的2/3。本试验系统为低温系统(小于100摄氏度)。如果是高温系统,自然降温速率要高得多,有时滞的传感器能测到的最大偏差与实际最大偏差之间的误差将更大,系统稳定性愈差,偏差愈大,由此而造成的这种测量误差亦愈大。显然,对于带有大时滞的控制系统,想要得到较好的性能指标,必须采用有补偿功能的控制规律。

参 考 文 献

- [1] 钱学森, 宋健. 工程控制论. 科学出版社, 1983
- [2] 蒋嗣荣, 洪振华. 计算机控制技术. 西北电讯工程学院出版社, 1985
- [3] Austn LLease, Rodnay Zaks. Microprocessor Interfacing Techniques 1978

Long-Time Delay Temperature Control System

Wang Zhaoxiang

Abstract

The structure of a testing system on temperature control together with its scheme, closed loop step response and main technical data were given.

Subjectwords: Computer closed-loop control, long-time delay, signal transmission delay, Compensation using software