

飞行器模拟加热装置的模型 辨识和自适应控制*

郑秋生

吴天福

(郑州纺织工学院)

(郑州工学院)

摘 要: 本文对飞行器模拟加热装置进行了模型辨识和自适应控制, 模型辨识使用 ARMAX(n) 辨识器, 辨识结果和机理分析一致, 自适应控制采用 STC CAMAC 两种算法, 控制结果满足性能指标要求。

关键词: 飞行器模拟加热装置, 算法, 辨识, 自适应控制

中国图书分类号: TP273·2

1 实验设计

我们使用的模拟加热装置能够很好地反映实际飞行器的加热过程, 它是由封闭的几乎绝热的园柱体分上下两部分组成, 每部分有均匀分布的 12 根碘钨灯管, 由它们产生热能, 给模拟装置加热, 三组灯管分别为 A、B、C 三相可控硅的负载, 不同的控制输入信号, 可控硅就有不同的电压输出, 从而加在灯管两端的电压就不同, 自然灯管的发热程度就不同, 因此, 控制输入信号的大小直接决定了加热装置加热程度的快慢。

本实验的计算机控制装置由 IBM-PC 计算机, Lab-Master 板, 放大器, 跟随器, 可控硅, RC 低通滤波器, 传感器几部分组成, 其示意图 1 为:

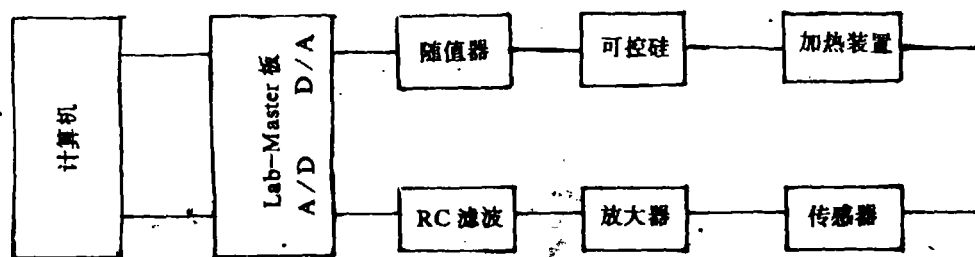


图 1

温度信号由镍铝—镍铬热电偶测得, 在工作范围之内 (0—1200℃), 有很好的线性特性, 0℃—0mv, 100℃—4.10mv, 200℃—8.13mv, 热电偶的电压输出为 mv 级, 接口

* 收稿日期: 1990.03.01

Lab-Master 板编程规定其 A/D 的输入电压范围为 0-10V, 这样 A/D 转换的有限字长误差和热电偶的测量信号同为 mv 级, 为了减少 A/D 转换引起的误差, 需要对测量信号进行放大, 放大倍数为 1000 倍, 放大器用 F007 块。

测量数据的精度对模型辨识和过程控制有很大的影响, 而影响测量精度的因素很多, 如传感器的精度, 信号的传送损失, 电网的波动, 放大器的漂移, 元件本身产生的高频扰动信号。

消除这些扰动的方法, 通常有硬件滤波和软件滤波, 我们的有用信号频率远远低于干扰信号的频率, 因此, 采用 RC 低通滤波器; 既简单又不致于有用信号失真, 在 Lab-Master 板的 A/D 输入端和放大器的输出端之间加一级 RC 低通滤波器, 其截止频率为 26Hz。

用示波器可以观察到, 在 RC 滤波器的输入端有一 50Hz 电源波动信号、200-300mv 及几个毫伏的高频干扰信号, 它相当于 $\pm 5^{\circ}\text{C} - \pm 8^{\circ}\text{C}$ 的温度扰动信号, 如不滤掉这些扰动, 要使温度控制在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 范围内, 是完全不可能的, 加入 RC 后, 在 RC 低通滤波器的输出端, 扰动交流信号为 1-3mv, 相当于不到 0.1°C 的扰动。

为了使 Lab-Master 板的输出有足够大的输出驱动电流, 和保证 Lab-Master 板有很好的阻抗匹配关系, 在 D/A 输出与可控硅的输入之间加一级跟随器。

由于测量信号只有一路, 所以只用了 Lab-Master 板上 16 个 A/D 通道的一个, 通道号为 0, A/D 转换时间 (采样时间) 由 9513 时间控制器编程规定, Lab-Master 板的两路 D/A 通道, 一路用来输出控制电压信号, 通道号为 0, 另一路用来发报警信号, 通道号为 1。

2 模拟加热装置的模型辨识

模拟加热装置由上下两部分的园柱组成, 各点的受热和散热程度不尽相同, 因此, 膛内是一个非均匀分布的随时间连续变化的场, 受热和散热程度不仅与时间有关, 而且还与三维坐标有关, 严格地说, 加热装置是一个分布参数的非线性慢时变系统, 试图建立其精确数学模型是不可能的, 但在某种环境下, 某点的温度完全可以认为和电压有线性定常关系。

从物理意义上讲, 由于园柱体外所包的绝热材料性能较好, 我们可以认为加热装置是一个近似于积分环节的大惯性带有延迟的一阶过程, 其传递函数为:

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1} e^{-\omega s}$$

经实验测得: $\tau \approx 10\text{Sec}$

输入信号的设计是辨识数学模型关键的一步, 要使输入信号能充分激发过程所有模态, 就要求输入信号必须有丰富的频率成份, 由于, 可控硅的触发电压是单级的, 要求控制输入电压 $u(k) > 0$, 因此, 试验信号可选为:

$$u(k) = \begin{cases} 2.5 & v(k) > 2.5 \\ v(k) & 0 \leq v(k) \leq 2.5 \\ 0 & v(k) < 0 \end{cases}$$

$v(k) = 1 + 0.5w(k)$, $w(k)$ 是零均值方差为1的高斯白噪声。取采样周期为10Sec, 采样次数为200次, 得到一组 $u(k)$ 、 $y(k)$ 数据, 利用这些作为过程特征表现, 用编制的 ARMAX(n)辨识器, 可得到模拟加热装置的节省参数随机模型为:

$$y(k) = 0.993y(k-1) + 0.026u(k-1) - 0.007u(k-2) + e(k)$$

确实, 它是一个一阶过程, 延迟为10Sec。

利用广义Z变换, 可得到其连续传递函数模型为: $G(s) = \frac{2.71}{1432S + 1} e^{-10s}$

时间常数 $T = 1432\text{Sec}$, 属于大惯性环节。

3 模拟加热装置的自适应控制

模拟加热装置有以下控制指标要求:

- ① 在加热开始的前十几分钟内, 保持加热装置的温度为 70°C , 相当于 2.85mV 。
- ② 在5分钟内, 从 70°C 均匀上升到 140°C , 相当于 5.73mV 。
- ③ 在 140°C 恒温段至少保持5分钟。
- ④ 70°C 恒温段要求 $+1^\circ\text{C}$ 的稳态偏差范围, 140°C 恒温段要求 $+1^\circ\text{C}$ 稳态偏差范围且最大超调量小于 4°C 。

在实时控制中, 设置 A/D 的转换时间为10Sec, 即采样周期为10Sec, 根据控制指标要求有:

① 70°C 恒温段为100个采样周期: $100 \times 10 = 1000\text{Sec} \approx 17$ 分钟;

② $70^\circ\text{C} - 140^\circ\text{C}$ 升温段为30个采样周期: $30 \times 10 = 300\text{Sec} = 5$ 分钟;

③ 140°C 恒温段为70个采样周期: $70 \times 10 = 700\text{Sec} \approx 12$ 分钟。

根据装置的要求, 为了限制开始升温段速度不致于过快, 我们人为地让温度在前50个采样间隔内, 慢慢地由初始温度升到 70°C , 这样, 温度控制的参考轨迹如图2:

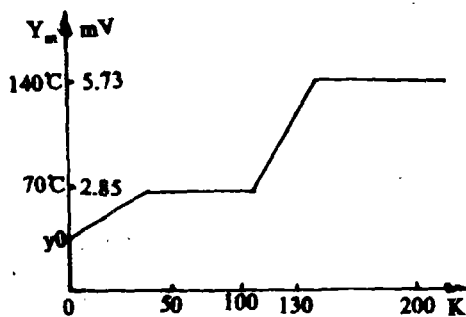


图 2

模拟加热装置对控制信号输入和测量信号输出有以下要求和限制:

- ① 控制电压 $u(k)$ 是单极性的 $u(k) > 0$;
- ② 为了防止可控硅过流工作和起动的冲击, 对 $u(k)$ 加以限幅, 在 70°C 时, $U_{\max} = 2.0\text{v}$, 在 140°C 时, $U_{\max} = 5.0\text{v}$;
- ③ 在实验开始前和实验完成后, 程序能自动使 $u(k)$ 复位, $u(k) = 0$;
- ④ 当检测到的温度信号 $y(k) > 145^\circ\text{C}$ 时, 产生报警信号, 同时置 $u(k) = 0$ 。

由于模拟加热装置是一个一阶大惯性带有延迟的环节,一旦产生大的超调,很难使其快速降下来,这就要求控制算法,既有很好的快速性又不致于产生大的超调。

我们使用了两种控制算法,对模拟加热装置进行控制。

① 自校正控制器 (Self-tuning controller)

本控制算法用(Clark & Gawthrop)1975年提出的自校正控制器,它的性能指标为:

$$J_{\min} = E\{[P(q^{-1})y(k+d) - R(q^{-1})ym(k)]^2 + [Q(q^{-1})u(k)]^2\}$$

其中 $P(q^{-1})$ 、 $R(q^{-1})$ 、 $Q(q^{-1})$ 为加权多项式,对 $Q(q^{-1})$ 的合适选择,既可以保证 $u(k)$ 不致于过大,又可以保证闭环的稳定性,这正是模拟加热装置要求的基本条件。

取 $Q(q^{-1}) = 0.2$, $R(q^{-1}) = P(q^{-1}) = 1$

$$U_{\max}(k) = \begin{cases} 2.0 & 1 \leq k \leq 100 \\ 5.0 & 100 < k \leq 200 \end{cases} \quad y_{\max} = \begin{cases} 2.85v & (70^\circ\text{C}) \\ 5.73v & (140^\circ\text{C}) \end{cases}$$

测得 $y_0 = 1.02v$ (25°C), 取 $u_0 = 6.0v$ 。

控制器的参数估计,采用参数适应算法 (Parameter adaptive algorithm, P.A.A.), 且保证增益矩阵 $F(k)$ 的迹为常数,取 $\text{Trace}F(k) = 40000$, $\alpha = 0$, $\mu = 10000$, $\beta = 0.95$, $P(0) = P(1) + P(2) = 0$ 。由于装置的模型中, b_0 较小 ($b_0 = 0.026$), 在控制律的参数估计中,由于闭环系统不可辨识的缘故,可能使 b_0 改变其符号,从而直接影响 $u(k)$ 的符号,得到相反的控制效果,为了保证闭环可辨识性,取 $b_0 = 0.2$, 与真实 b_0 同号,STC 控制结果见下图 3(a)。

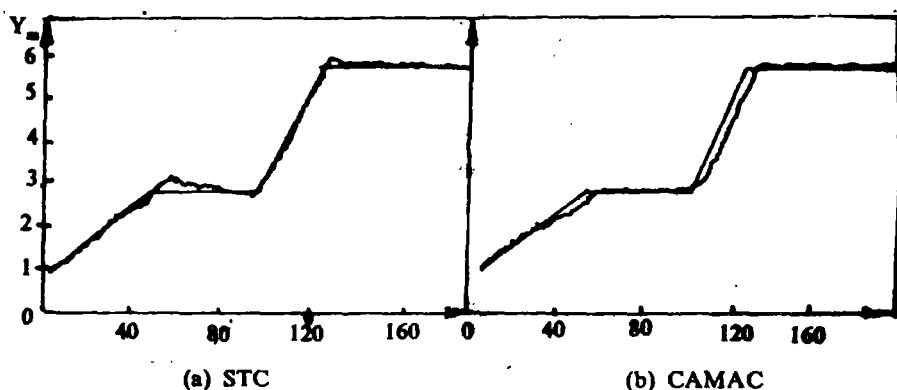


图 3

② 控制超前滑动平均控制器 (Control Advance Moving Average Controller, CAMAC)

本算法用 Voss(1987)提出的控制超前滑动平均控制器(CAMAC),它的性能指标为:

$$J1 = \|ym(k) - y(t+d+k)\|^2; \quad J2 = \sum_{i=1}^k [u(t+i) - u(t+i-1)]^2$$

其中, k 为控制超前步数,本实验中 $k = 2$, 同样取:

$$U_{\max}(k) = \begin{cases} 2.0 & 1 \leq k \leq 100 \\ 5.0 & 100 < k \leq 200 \end{cases} \quad y_m = \begin{cases} 2.85v & (70^\circ\text{C}) \\ 5.73v & (140^\circ\text{C}) \end{cases}$$

测得 $y_0 = 1.05v(25^\circ\text{C})$, 取 $u_0 = 0.6v$.

P.A.A.的初始参数, $\text{traceF}(k) = 70000$, 参数向量 $P(0) = 0$, 其控制结果见图 3(b).

从 STC 的控制结果可以看出: 在 70°C 恒温段, 稳态偏差为 $\pm 0.3^\circ\text{C}$, 在 140°C 的恒温段稳定偏差为 $\pm 0.3^\circ\text{C}$, 能准确地在 5 分钟内由 70°C 升到 140°C , 此算法的快速性好, 但出现了大的超调.

从 CAMAC 的控制结果可以看出, 不论是 70°C 升温段, 还是 140°C 升温段都没有产生超调现象, 恒温段的稳态偏差也较小, 在 70°C 恒温段, 稳态偏差为 $\pm 0.25^\circ\text{C}$, 在 140°C 恒温段, 稳态偏差为 $\pm 0.35^\circ\text{C}$, 但是它的快速性不够理想, 在 5 分钟内只能由 70°C 升到 135°C , 不能满足控制要求, 然而, 我们可以增大 70°C — 140°C 升温段的参考轨迹的陡度, 来很好地克服这个缺陷, 取升温段为 25 个采样周期, 从而满足指标要求.

在 STC 和 CAMAC 算法中, 稳态偏差都是 \pm 偏差, 而性能指标要求最大稳态为 $+1^\circ\text{C}$, 这个问题很容易解决, 只要重新设置 140°C 及 70°C 的参考轨迹即可, 取 70°C 时, $y_m = 2.865v$, 140°C 时, 取 $y_m = 5.745v$, 这样, 满足了所有性能指标的要求.

本课题的工作得到沈亮高工、杨季枕教授、魏家忠教授的大力帮助, 在此表示感谢.

参 考 文 献

- (1) G.J.Harris & S.A.Billings. Self-tuning and Adaptive Control Theory and Applications. Peter Peregrinus Ltd. 1981
- (2) I.D.Landan. Lecture Notes on Adaptive Control, 1982
- (3) G.I.Voss, H.J.Chizack & P.G.Katona. Regarding Self-tuning Controllers for Nonminimum Phase Plants. Automatica, 3, P405-408, 1987

The Model Identification and Adaptive Control of Artificial Heating Facility of Aircraft

Zheng Qiusheng

Wu Tianfu

(Zhengzhou Textile Industrial Institute of Technology)

(Zhengzhou Institute of Technology)

Abstract: In this paper, the model identification and adaptive control of artificial heating facility of aircraft have completed. The ARMAX(n) model identification method has used. The identification results are exactly the same as the theoretical model. The STC and CAMAC control algorithm has used in adaptive control. The control effects satisfy all the requirements of control system.

Keywords: artificial heating facility of aircraft, algorithm, identification, adaptive control