

文章编号:1005-0523(2000)03-0042-05

石墨炉电源模糊—PID 控制系统

杨超¹, 杨辉²

(1.江西省建筑工程学校, 江西 南昌 330038 2.江西省科学院, 江西 南昌 330043)

摘要:提出了应用模糊—PID 控制器对原子吸收分光光度计无火焰原子化器—石墨炉电源进行自动控制的方法,测试结果表明所研制的石墨炉电源系统具有优异的动态及稳态性能¹⁹.

关键词:模糊控制;PID 控制;石墨炉电源;原子吸收分光光度计

中图分类号:TH744.12⁺5;TP273⁺.4 **文献标识码:**A

0 引言

石墨炉是原子吸收分光光度计中应用最广泛的无火焰原子化器¹⁹其本质是一个电加热器,它利用电能加热盛放试样的石墨容器,在短时间内迅速达到 2 000~3 000 ℃ 的高温,以实现试样的蒸发和原子化¹⁹.由于要求石墨炉在原子化阶段的升温速度 $>2\ 000\ \text{℃/s}$ 和温度精度要求较高,原子化阶段每次升温的温度重现性对元素分析精度有较大的影响,因此对石墨炉供电电源的要求较高¹⁹.目前原子吸收分光光度计石墨炉电源的设计主要是采用在标准工作条件下测得的石墨炉稳态时的电流(电压)—温度关系曲线进行开环控制,很难达到上述要求¹⁹.据此,我们应用红外小目标测温技术对石墨炉温度进行检测,应用微处理机和模糊—PID 控制技术对石墨炉的温度进行反馈控制,实现了对原子吸收石墨炉电源的自动控制¹⁹.

1 系统设计

1.1 硬件结构

石墨炉电源自动控制系统的硬件是以 8031 单片机为核心,通过扩展相应的外围接口电路和驱动电路等组成¹⁹.其控制系统电路框图参见图 1¹⁹.



图1 控制系统硬件电路框图

收稿日期:2000-06-07;修订日期:2000-08-08

作者简介:杨超(1964-),男,江西新干人,江西建筑工程学校讲师.

控制单元由 Intel18031 单片机、程序存储器、数据库存储器等组成;键盘、显示及状态指示电路用于输入控制指令、程序,显示石墨炉温度和控制参数以及指示石墨炉电源运行状态;开关量输入输出电路用于输入石墨炉电源运行状态信息,监测各输入变量及与自动进样器或原子吸收主机的联接信号,输出对石墨炉电源及其它相关设备的控制信号;模拟量输入电路用于对石墨炉电源的温度信号进行采样,经控制算法处理后输出对石墨炉电源温度的控制信号;串行通讯电路用于石墨炉电源和通用微机进行通讯,由微机直接控制石墨炉电源的运行¹⁹。

1.2 软件设计

根据石墨炉电源的特点及其对炉温控制性能指标的要求,我们采用模糊 PID 复合控制技术对石墨炉温度进行自动控制¹⁹获得了优异的动态性能和稳态控制精度¹⁹其软件设计思想是:当被控变量偏差大于某一阈值时,采用定值控制模式,以提高系统的响应速度,加快响应过程;当偏差减小到阈值时,切换转入模糊控制模式,以提高系统的阻尼性能,减少响应过程中的超调¹⁹这就综合了定值控制和模糊控制的优点¹⁹通过上述处理,使模糊控制的论域仅是整个控制论域的一部分,即相当于模糊控制论域已被压缩,等效于语言变量的语言值即分档数增加,从而提高了系统的灵敏度和控制精度¹⁹而当偏差进入模糊控制的稳态平衡区域时,由于 PID 控制在平衡点附近的小范围内具有理想的调节效果,且其积分作用可最终消除系统的稳态误差,系统切换转入 PID 控制模式,控制系统框图如图 2 所示

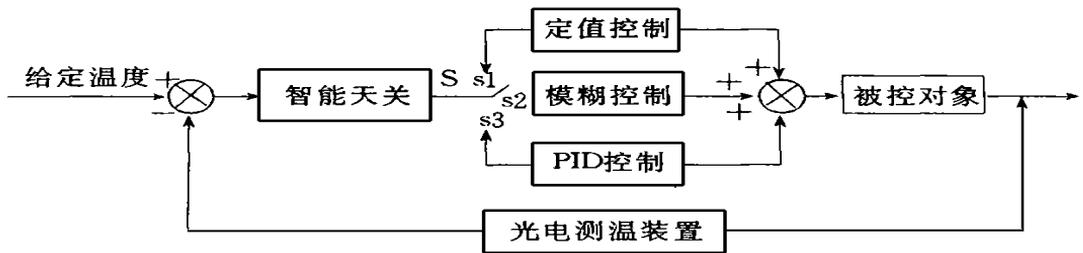


图2 控制系统框图

图中各控制模块的设计如下:

1) 智能开关设计

$$\text{If } |E| > \Delta T_1 \text{ then } S = s_1$$

$$\text{If } \Delta T_2 < |E| < \Delta T_1 \text{ then } S = s_2$$

$$\text{If } |E| < \Delta T_2 \text{ then } S = s_3$$

其中: ΔT_1 系统偏差阈值; ΔT_2 为模糊控制器误差语言变量取“零”值时对应的值⁽¹³⁾

控制器输出

$$u_i = u_{i-1} - \Delta u_i$$

其中: u_i 为控制器现时刻的输出; u_{i-1} 为控制器前时刻的输出; Δu_i 为控制器现时刻相对于前时刻输出的增量⁽¹³⁾由于在实际控制过程中控制器的输出总是有约束的,因此实际控制过程中控制器的输出可描述为:

$$\text{If } |u_i| > u_{\max} \text{ then } U = u_{\max}.$$

$$\text{If } |u_i| < u_{\max} \text{ then } U = u_i.$$

令及系统其它参数有关,可由实验整定选择^[13]

3) 参数自整定模糊控制器的设计 在石墨炉电源自动控制系统中,采用具有2级结构的参数自整定模糊控制器,如图3^[13]下一级的算法实现模糊控制功能,上一级的算法实现模糊控制器参数的自整定功能^[13]

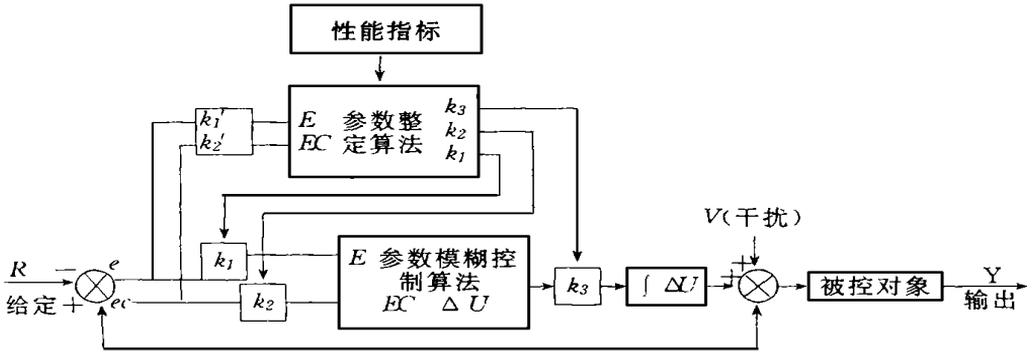


图3 参数自校正模糊控制系统

其中: R 为给定值; T 为系统输出; $e = y - R$ 为误差; $ec = \dot{e}$ 为误差的变化率; k_1 、 k_2 和 k_3 分别为模糊控制器误差、误差的变化的量化因子和控制器输出的比例因子; V 为系统确定性干扰^[13]而模糊控制算法则是一组如下形式的模糊条件语句

$$\text{If } E = A_i \text{ and } EC = B_j \text{ then } \Delta U = C_k; i, j = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, n^{[13]}$$

其中: E 、 EC 和 ΔU 分别代表被控变量的误差、误差的变化和控制量变化的语言变量;而 A_i 、 B_j 和 C_k 则分别代表误差、误差的变化和控制量变化对应论域上的语言值,如:负大(NB)、负中(NM)、负小(NS)、零(ZO)、正小(PS)、正中(PM)和正大(PB)等^[19]对于石墨炉电源自动控制系统,我们可以设计1组如上述模糊控制规则,然后通过整定模糊控制器的3个参数和采样周期的大小即可对系统实现有效的控制^[13]模糊控制器参数的整定方法如下^[13]

通过分析可知参数 k_1 和 k_2 对系统的动态性能和稳态性能均有影响,而参数 k_3 主要对系统的动态性能发生影响^[13]因此要使系统有较高的稳态精度必须参数 k_1 和 k_2 越大越好,然而 k_1 和 k_2 越大势必影响系统的动态性能,甚至使系统产生振荡,不能正常运行^[13]为了使系统的动态性能和稳态性能都达到理想要求,并减小系统设计复杂性,我们提出了一种根据系统的稳态性能指标要求整定参数 k_1 和 k_2 ,而通过在线调模糊控制器参数 k_3 来满足系统动态指标的方法^[13]

参数 k_1 和 k_2 的整定:要使系统的稳态误差小于 δ (δ 为一个大于零的小数),则控制器的参数 k_2 必须按下式整定 $k_1 > \delta/2$ ^[13]一般系统的性能指标中并不对稳态误差的变化作何要求(事实上,系统进入稳定状态后,稳态误差的变化就趋于零)^[13]在 k_1 一定的条件下, k_2 影响系统的动态响应上升速率,为了使系统有一个理想的动态响应, k_2 必须和 k_1 相协调^[13]对我们设计的模糊控制规则表,一般取 $k_2 = (1.5 \sim 2.5) k_1$ ^[13]

参数 k_3 整定:我们可以设计出一组以语言规则描述的参数 k_3 的整定规则^[13]即

$$\text{If } E = A_i \text{ and } EC = B_j \text{ then } k_3 = C_l; i, j = 1, 2, \dots, m; l = 1, 2, \dots, p^{[13]}$$

其中: E 和 EC 分别为被控变量的误差和误差的变化的语言变量, A_i 和 B_j ; 为其对应论域上的语言值(即NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB等); k_3 为比例因子的语言变量, C_l 为其对应论域上的语言值,如:很大(VB)、大(B)、中(M)和小(S)等^[19]

根据设计的模糊控制规则和参数整定规则,应用近似推理合成算法,由计算机离线计算好模糊控制表和参数整定查询表,并将此控制表和参数整定查询表储存在计算机内^[13]。每当采样得到系统的误差和误差的变化,分别对其进行量化,就可从控制表和参数整定查询表中分别查找出相应的控制量 U 和整定参数,从而可很方便地对工业对象实现计算机实时控制^[13]。控制表的获得是模糊控制的主要特征,一个可用于工业过程控制的查询表,必须经过严格的实践检验和反复修改才能获得^[13]。

4) 参数自整定 PID 控制

PID 控制器是一种比例、积分、微分控制器,它是应用最广泛的一种控制器¹⁹。PID 控制器的数学模型可以用下式表示

$$u(t) = K_p [e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt}] \quad (1)$$

其中: $u(t)$ 为控制器的输出; $e(t)$ 为控制器的输入,它是给定值和被控对象输出值的偏差信号; K_p 、 T_i 、 T_d 分别称为控制器的比例、积分、微分系统^[13]。

在以微处理机为硬件核心的控制系统当中,由于以采样周期对输入和输出状态进行实时采样,故它是离散时间控制系统^[13]。在离散控制系统中,PID 控制器采用差分方程表示¹⁹。故有

$$u(k) = K_p \left[e(k) + \frac{1}{T_i} \sum_{j=1}^k e(j) T + T_d \frac{e(k) - e(k-1)}{T} \right] \quad (2)$$

其中: $u(k)$ 为 k 采样时刻的输出, $e(k)$ 为 k 采样时刻的偏差, T 为采样周期^[13]。

令 $\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$, $K_i = k_p/T_i$, $K_d = K_p T_d$ ^[13]。则有

$$u(k) = K_p e(k) + K_i T \sum_{j=1}^k e(j) + \frac{K_d}{T} \Delta e(k) \quad (3)$$

为避免在求取控制量 $u(t)$ 时对偏差求和运算 $\sum e(j)$,通常采用增量算式 $\Delta u(t)$ ^[13] (即 $u(k) = u(k-1) + \Delta u(k)$), 则

$$\Delta u(k) = K_p \left[e(k) - e(k-1) + \frac{T}{T_i} e(k) + \frac{T_d}{T} (e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)) \right] \quad (4)$$

对于一个特定的被控对象,在纯比例控制的作用下改变比例系统可求出产生临界振荡的 Y_u 和 K_u ^[13]。根据 Ziegler-Nichols 条件,有 $T = 0.1T_u$, $T_i = 0.5T_u$, $T_d = 0.125T_u$, 代入式(4), 则有

$$\Delta u(k) = K_p [2.45e(k) - 3.5e(k-1) + 1.25e(k-2)] \quad (5)$$

采用上式则可应用参数寻优算法对参数 k_p 实现自整定^[13]。

2 实验研究结果

应用研制的光控石墨炉电源 WF-1C, 美国 PE 公司生产的 HGA 600, ZL 4100, 日岛津公司生产的 AS 6701 进行联机分析测试, 对照测试结果 (m_0 值) 如下

表1 对照测试结果

元素	波长	HGA600	ZL4100	AS6701	WF-IC
A_s	193.7	17.0	42.0	4.0	6.0
B_a	553.5	6.5	15	2.0	2.1
C_d	228.8	0.35	1.3	0.41	0.68
M_o	313.3	9.1	12.0	4.3	7.0

特点如下:可编程 9(18) 个加热工步,每个工步可设置温度、时间、控温方式等,炉温控制范围从室温——3 000 °C,升温速率 $>>2\ 000\ ^\circ\text{C}/\text{s}$,控温精度 1%(实际小于 5%),控温重现性误差 3%;另外还具有过热、水、气、以及反馈回路故障保护功能,炉温校正功能^[13]

由于采用了红外测温技术和模糊-PID 控制技术,使石墨炉控温水平上了新台阶,起到了炉温不受电网电压波动影响,不受石墨管电阻变化影响,解决了灰化温度波及原子化温度的问题¹⁹。为石墨炉分析开辟了新天地¹⁹。经检测和多方专家测试,其功能和数据均已进入 90 年代国际先进水平行列¹⁹。填补了国内光控石墨炉电源的空白¹⁹。现已批量投放市场¹⁹。

[参 考 文 献]

- [1] 杨 辉,王金章.模糊控制技术及其应用[M]¹⁹南昌:江西科学技术出版社,1997¹⁹.
 [2] 李 华¹⁹.MCS-51 系列单片机实用接口技术[M]¹⁹.北京:北京航空航天大学出版社,1993¹⁹.
 [3] 朱良漪¹⁹.分析仪器手册[M]¹⁹.北京:化学工业出版社,1997¹⁹.

Carbon Oven Electric Resource Fuzzy-PID Control System

YANG Chao¹, YANG Hui²

(¹. School of Jiangxi Civil Engineering, Nanchang 330038, China; ². Science Academy of Jiangxi, Nanchang 330043, China)

Abstract: The authors offer a method of automatic Control that practical fuzzy-PID controller makes to the atomic absorbing dividing lightmeter nofire atomic appliances — carbon oven electric resource, and the testshows that the carbon oven electric resource system possesses excellent tendencies and stability.

Key words: fuzzy control; PID control; carbon oven electric resource; atomic absorbing dividing light meter.