

文章编号: 1005—0523(2004)02—0111—05

三曲轴氮化炉电控研究

尹叶红

(北方交通大学 机电学院, 北京 100044)

摘要:对我厂工具车间热处理工段三曲轴氮化炉的设计研究工作进行分析和总结, 介绍了新一代温度控制器的控制原理和应用效果, 并具体分析了新型电炉调功设备控制方法及效果, 温控器与上位计算机的通信.

关 键 词:三曲轴氮化炉; 二自由度温控器; 调功器; 混合式六段无笔记温仪; 微型计算机; 异步通信

中图分类号:F240 **文献标识码:**A

1 问题提出

在我厂内燃机车修理过程中每年大约有 50 多条曲轴需进行氮化处理. 我厂原有一台单曲轴氮化炉, 因炉温控制误差太大(一般在 $\pm 20^{\circ}\text{C}$ 左右), 长期使用, 而且该炉耗电量较大. 为此, 工厂决定上一台三曲轴氮化炉. 该炉炉体长 7 米, 直径 3 米, 内置不锈钢内罐, 总功率 300KW, 分成六段加热区, 六段电热丝上、下布置, 罐内各段控温误差应小于 $\pm 3^{\circ}\text{C}$, 总体误差不得大于 $\pm 5^{\circ}\text{C}$, 并要求有两个恒温段, 其控温曲线如图 1.

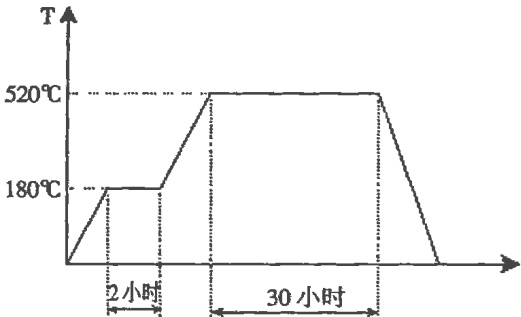


图 1

由于炉体体积巨大, 要求温度点为罐内中心温度, 各段加热元件上、下布置, 造成炉体内部热惯性很大, 而且由于相邻段干扰严重, 给炉温控制带来

很大的难度. 又因控制目标值为两个, 使得控制特性很难兼顾目标值的跟踪和外部扰动的抑制.

2 几种方案技术比较

2.1 控制设备选择

1) 采用经典的控制理论, 该方案须对整个系统的状态方程进行辨识, 用最小二乘法分别对六个加热区进行状态方程的解析, 同时又因炉体为一六输入六输出系统各输入量的相互耦合影响很大, 要对每段作用得出控制状态方程, 就必须对各段之间的耦合影响进行解耦才能找出各段加热区的控制对策, 目前从一些文献介绍比较成功的也仅有两段解耦比较成功, 因此该方案的具体实现困难较大.

2) 采用一般传统的 PID 控制进行分段控制, 我厂原有单曲轴氮化炉就是采用这种控制方式. 实践证明这种控制系统无论是稳态误差和超调量均不能满足要求而且由于六段温度的相互耦合作用给 PID 参数整定带来很大困难.

3) 采用(进口)智能温度控制器, 这类控制器采用微处理器数字控制, 其控制规律采用二自由度 PID 它能在线自动辨识系统特性, 自动整定出最佳 PID 参数, 提供两段目标值迁移功能, 可满足两个目标值的自动调整, 并具有多种报警功能和自诊断功

能,输入信号可根据情况适合多种输入方式. 通过以上分析可知此类控制器有良好的控制功能和性能,并有优良外性能价格比.

该温控器同时具有异步串行通信功能,可实现上位计算机监控和监测.

2.2 调功元件的方式选择

1) 传统的电炉控制元件,一般使用控制器的继电器输出驱动接触器. 这种控制方式决定了输出信号不可能对用电器时间进行灵敏精确的控制,对控制温度系统一般取控制周期为 15 秒左右,如果按照这种速度进行控制,将会大大降低导电接触元件寿命,同时会对数字控制系统产生较大的干扰.

2) 可控硅交流开关,这是一种无触点功率控制方式,其特点是可以较大幅度地提高通电速率,而又不会产生电火花干扰. 在中小功率的电加热炉应用广泛,但对于大功率控制会产生较大电源波形畸变造成电源污染,又由于输出为时间比例调节控制精度不

高.

3) 采用可控硅过零触发连续调功方式,该调功方式可在 4~20 mA 以内输出量从 0~100%内连续调节,无触点、无噪声,采用过零触发无波形畸变不产生电源污染功率因数高. 其输出可在 2 秒钟周期下控制输出正弦波形的占空比,并具有手动、自动、斜率控制方式及过流保护功能是一种比较理想大功率高精度电炉控制方式.

综上所述,采用可控硅过零调动具有明显的优势.

3 系统构成

由以上分析,系统采用了 E5AX-A02 控制器,可控硅过零调功器、六段混合式无笔记录仪并用两台计时器控制温控器的温度迁移时间及加热全过程以实现自动控制设定温度的变化和自动停止加热,系统测温原件采用 K 型双支热电藕. 单段框图如图 2.

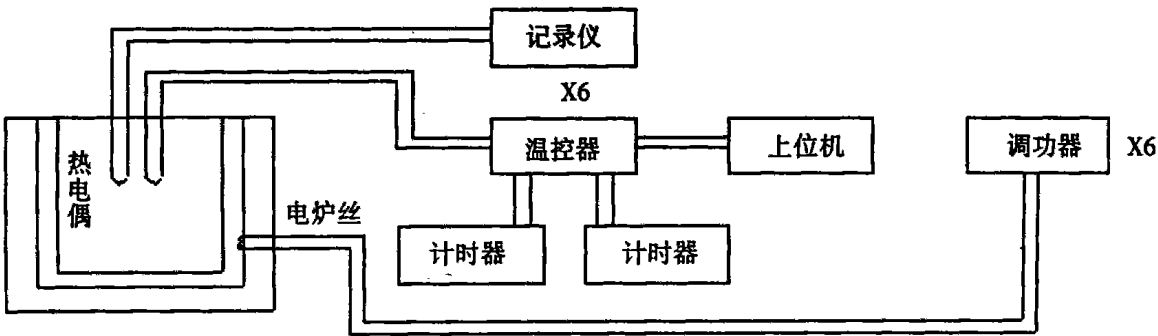


图 2

4 控制原理分析

1) PID 控制:
PID 控制方程为:

$$Y(t)=K_p e(t)+\int e(t)dt+T_d \frac{de(t)}{dt}$$

式中: $Y(t)$ 为调节输出; $e(t)$ 为调节输入, 其值为给定值与测量值之差有: $e(t)=sv-pv$ 即偏差量, K_p 为比例系数, T_i 为积分时间, T_d 为微分时间.

其中第一项为比例调节 P , 第二项为积分调节 I , 第三项为微分调节 D , 取拉斯变换后其系统传递数框图为:

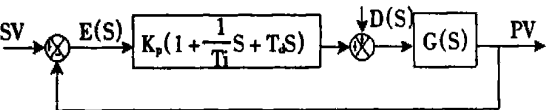


图 3

其中 $D(s)$ 为扰动量, $G(s)$ 为机构传递函数
在以上 PID 调节器中, 比例调节作用 $K_p e(t)$ 与偏差成正比, 因此只要偏差存在就能及时产生与之成正比例的调节作用, 具有调节及时的特点. 调节强度取决于 K_p 的大小, K_p 越大其调节作用越强, 其动态特性愈好, 但过大的调节量会使系统出现振荡, 比例调节的主要缺点是不能消除静差.

积分作用 $\frac{1}{T_i} \int e(t)dt$, 调节器的积分输出与偏差量的积分作用成正比, 其积分时间常数 T_i 越小、其积分速度也就越快. 其特点是调节器的输出与偏差存在的时间有关, 只要偏差存在其输出就会随时不断增长, 直到偏差消除, 积分的作用能很好地消除静差.

微分作用 $T_d \frac{de(t)}{dt}$, 能使调节器在偏差刚刚出现而其值尚不大时, 根据偏差的变化趋势, 提前给出较大的调节作用, 以便使偏差尽快消除, 一般微分调节对有较大的惯性的对象有较好的调节品质,

可以尽快减小系统的动态偏差及调节时间。

为使调节系统有较好的调节品质,把比例、积分、微分三种动作组合起来就形成了 PID 控制,其控制对阶跃响应的特性如图 4 所示。

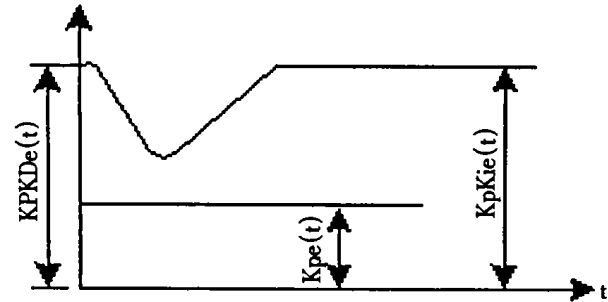


图 4

其中 $KPKI$ 是 $t \rightarrow \infty$ 时的比例积分增益, $KPKD$ 是 $t \rightarrow \infty$ 时比例微分增益。

对于单阶跃函数的 PID 调节作用,首先是比例、微分作用调节器产生一较强的反应,然后进行积分作用,直到消除静差为止。因此 PID 调节对系统的静态和动态误差能够得到比较好的调节作用。

2) 二自由度 PID

在上述一自由度 PID 中,如果要想使系统有效抑制外部扰动,从而实现系统有理想动态响应,又要使系统的目标响应达到最优,以有效地减少超调量,这对于 PID 系数整定来说是一对矛盾,系统很难同时兼顾这两方面的特性,框图如图 5。

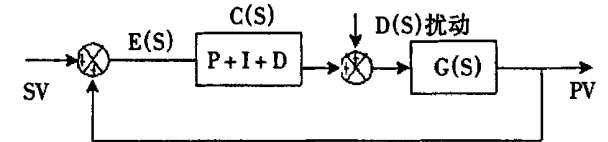


图 5

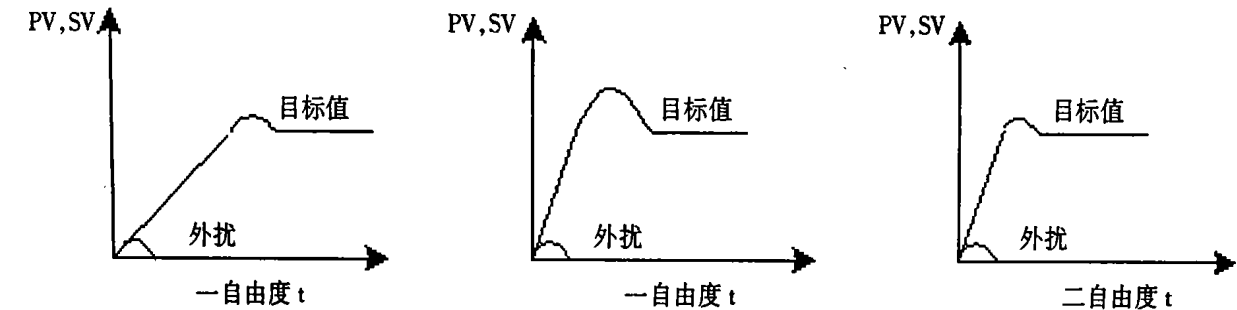


图 7

3) 可控硅过零调功器(原理图附后)

从主电路原理图可见,电路是利用六只可控硅作交流开关,用以控制电炉丝的加热。其触发电路

由自动控制理论得出系统的传递函数为

$$PV = \frac{C(s)G(s)}{1 + C(s) + G(s)}SV + \frac{G(s)}{1 + C(s)G(s)}D(s)$$

因此在 70 年代出现了二自由度控制其传递函数框图为:

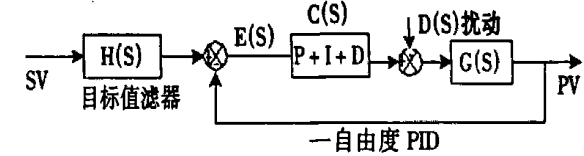


图 6

如图所示在目标值与输出值进行偏差计算之前,先对其进行滤波,其传递函数为

$$PV = \frac{H(s)C(s) + G(s)}{1 + C(s) + G(s)}SV + \frac{G(s)}{1 + C(s)G(s)}D(s)$$

由上式可以看出:其中第二项仍为原有的 PID 控制,可整定 PID 系数使得控制外部扰动为最优。其中 $C(s)$ 仍符合:

$$C(s) = K_p + \frac{1}{T_i s} + T_d s$$

与原有的控制规律相同,根据 $C(s)$ 的结构通过合理地选择 $H(s)$ 使得式中第一项形成新的 PID 控制构成第二自由度,使得第一项跟踪目标值 SV 的特性为最优,并应满足目标值滤波器的输入和输出相等。依据终值定理应有 $\lim_{t \rightarrow \infty} h(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sH(s) = 1$

由以上分析可以看出:二自由度 PID 控制即能保证目标跟踪为最优,又具有很好的外扰抑制特性,同时对原 PID 参数整定没有任何影响。一般可设第二自由度的 PID 常数为定值,而原 PID 控制仍可使一些变种形式如微分先行,带死区 PID 等。

其使用效果如下图。

是利用 NE555 时基电路产生锯齿波,其过程为:首先电源通过恒流二极管 D14 向 C4 充电,当其充电电压达到 $2/3V_{cc}$ 时,使 NE555 输出翻转,从而使 7

脚在 NE555 内部与 1 脚接通放电,随着 6、7 脚电压的降低使放大器 IC1;D12 脚电压低于 13 脚电压时,放大器 IC1;D14 脚输出由正变负,当该值小于 1/3V_{cc} 时,NE555 再次翻转 7 脚停止向 1 脚放电,V_{cc} 重新向 C4 充电,如此,可在 6 脚形成锯齿波,并引入 IC:A 运放 2 脚.

在信号回路,由调节器输出的 4—20mA 信号在 R16 两端产生电压经 IC1;B 及外围电路组成差分放大器,放大后引入 IC1:A 的正端输入.在差分放大器电路中有 R12=R13,R15=R14=R33=R35 使其放大器的输出为:

$$V5^*=(1+\frac{R15}{R34+W2})\frac{R12}{R15}(V+-V-)$$

调节 W1、W2 可使调节器在输出电流为 4—20 mA 范围内,其放大器的输出为 0—10 v,并在自动方式下引入 IC1:A 同相端与反相端的锯齿波合成出

方波,并根据输出可调的占空比.其方波的周期决定于锯齿波的周期,调定为 2 秒.如图所示.

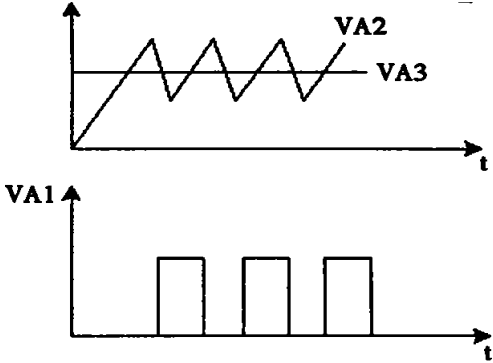


图 8

可控硅过零触发使用了三片 MOC3081 晶闸管输出型光电耦合驱动器以触发主电路中可控硅交流开关.电路简图如下.

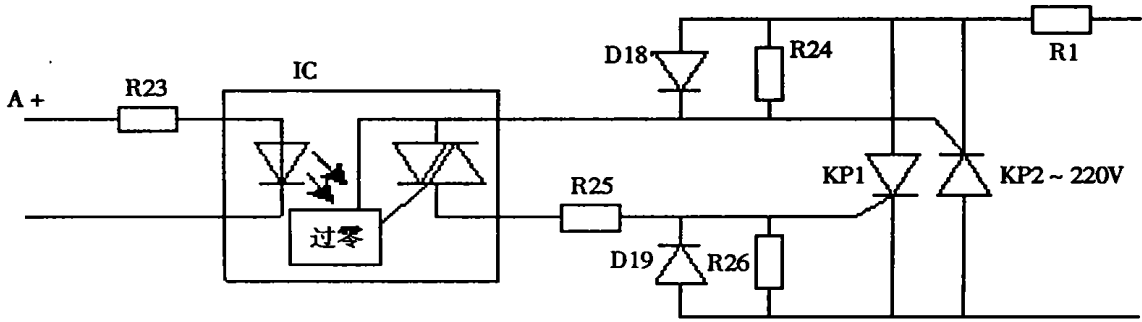


图 9

MOC3081 是双向晶闸管输出的光电耦合器.内有过零触发电路,输入控制电流为 15 mA,输出端额定电压为 800 V,过零检测电压为 20 V,最大重复浪涌电流 1 A,输入输出隔离电压 7 000 V,是一种新型的可控硅触发元件.对上图的分析如下:A* 端导通后输出 12 V,为使得光电耦合输入电流为 15 mA.

使 $R23=\frac{12-3\times 0.6}{0.015}=746\ \Omega$ 取 $R23=750\ \Omega$ 就可保证正常的光耦驱动在输出侧设交流电压出现正半周上正下负,光耦输出侧当检测出电流过零后即导通.因 D18 正偏对 Kp2 无影响,电流通过限流电阻 R25 后在 R26 上产生电压以触发 Kp1,使负载 Rf 通电,同理当电源出负半周时,可使 Kp2 导通. MOC3081 在关断时仍有 500 μ A 左右的漏电流,为避免对外部可控硅产生误导通取 R26、B24 电阻为 33 Ω ,其漏电流产生电压为:0.000 5 $\times$ 330=0.165 V,不会产生误导通,R25 为 MOC3081 的限流电阻,用以限制 MOC3081 的输出电流小于 1 A,因 MOC3081 的过零检测电压为 20V,故取限流电阻为 27 Ω .

20 V,其触发角为:

$$\alpha=\sin^{-1}\frac{20}{\sqrt{2}\times 220}=3.68\text{度}$$

同时电路设置了过流保护环节,当过流后 IC1:C 快速输出高电平,使晶体管 BG 导通,IC4 光电耦合器输入短路外部可控硅截止,并有蜂鸣器 D 报警.另外,系统通过 K1 开关可实现手动、自动和可实现自动斜率控制,其原理是通过 D17 使控制器输出电流的一部分流经 W5 入地,可人为减少输入量,达到降低输出的目的.这一点对炉子开始升温时有很大的作用.因为炉丝布置不可能均匀,加上向顶部作用的热惯性,使各段温度到达设定值的差异很大,如果任其全功率加温,必然使升温慢的加热段对升温快的加热段在平衡后有很大干扰,造成极大的超调量,使用斜率控制可使各加热段保持同步的升温速度,以提高系统稳定性,避免较大的超调.

5 通讯功能

E5AX-A02 配有符合 EIA RS-232C 标准的异步串

行通信接口,温控器上所有功能均可由微机写入和读出,系统用一台微机与温控器进行了通信,其接法为:

表 1 连接信号			
信号名称	代号	信号方向	插销号
接地	FG	-----	1
信号地	SG	-----	7
发送数据	SD	输出	2
接收数据	RD	输入	3
发送请求	RS	输出	4
发送允许	CS	输入	5
数据集准备	DSR	输入	6
数据终端准备	DTR	输出	20

连接图:

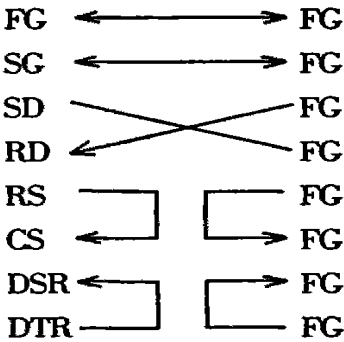


图 10

如果用一台微机对多台温控器中间应加分配器.

其中微机上用 C 语言写出通讯和管理程序,异步通讯协议设为 7 位数据、偶校验、1 个停止位,传输波特率设置为 2 400 波特,根据 E5AX _A02 通信规定,其发送接收信息组如下图:

	单	首	正	F	终
“@”	元	标	文	C	
	号	代		S	端
		码			

其中“@”为起动符,单元号指温控器代号,正文指实际发送内容,FSC 是从“@”起动符到最终正文的排他性逻辑和用于传输错误检测,终端为信息结束标志.

该程序共以下几个模块:

- (1)主程序模块
- (2)工件工艺曲线输入及显示修改模块
- (3)发送数据作成模块
- (4)通信模块
- (5)温控器状态检测模块
- (6)工况显示及存储打印模块

该程序可实现微机对多台温控器的群控、多种工艺参数一次录入、按工艺号由微机控制温度曲线,并可实现多种管理功能.

6 使用效果

该设备自投入运行后技术性能稳定、可靠,控制方便灵活,炉内各点温度误差均小于± 2℃,完全达到工艺要求,每年约处理 50 多条曲轴,可为工厂节约曲轴热处理费用 75 万元,且比原单轴氮化炉节约电约 60%.

参考文献:

[1] 刘祖京. 实用接口技术[M]. 北京:工业大学出版社, 1999.

[2] OMRON 公司 E5AX 温度控制仪技术说明书.

[3] 李秉操,等. 单片机接口技术在工业控制中的应用[M]. 陕西:陕西电子编辑部, 1993.

[4] 潘新民. 微型计算机控制技术[M]. 北京:人民邮电出版社, 1988.

[5] 钟伟桐. 双变量 PID 的自动温度控制[J]. 电子技术应用, 1988, (4).

Research and Design Report on Electrical Control of Three-shaft Nitriding Stove

YING Ye-hong

(The Nothern Transportation University Beijing 100044, China)

Astract: The report analyzes and summarizes the design and research work of the three-shaft nitriding stove in the heat-treating section of our factory's tool workshop. It introduces the control principle and application effect of the new generation temperature controller and analyzes concretely the control method and effect of the new type power adjustment apparatus, the communication between the temperature controller and the n-host computer.

Key words: three-shaft nitriding stove; two-free-dimension temperature controller; power adjustment apparatus; composite six stage non-pen temperature record instrument; microcomputer; asynchronism communication