

高精度渗碳控制方法

闫林*

(电子科技大学中山学院 广东 中山 528402)

【摘要】在采用电阻法直接测控碳势的方法中,提出了一种分段参数调节增量式PID算法,通过实际调试和理论推导表明,渗碳工艺过程控制具有控制超调量小、过渡时间短、精度高、软件实现方便等优点,稳定后碳势控制精度可达 $\pm 0.03\%$ 。

关键词 电阻法; 碳势; 增量式PID算法; 热电偶; 控制精度

中图分类号 TN39 文献标识码 A

A High Accuracy Method of Controlling Carbon Potential

Yan Lin

(Zhongshan College, UEST of China Guangdong Zhongshan 528402)

Abstract In this paper, a PID calculating method with the mode of increment and staged parameters regulation is provided for the Resistance Method for direct measuring and controlling carbon potential. It has been proved by practice that such a method has the advantages of little over control, short transient time, high accuracy and convenient software.

Key words resistance method; carbon potential; PID calculating method with the mode of increment; thermocouple; control accuracy

在处理过程中,碳势的高精度测量和控制在国内外受到普遍重视。目前其测控方法主要有CO₂红外仪、氧探头和电阻法等。本文采用电阻法来直接测控碳势。为了克服渗碳剂的化学反应过程和加入滴注液的机械响应所带来的时间滞后,提出一种分段参数调节的增量式PID(Proportion Integral Differential)算法^[1],这种算法具有控制超调量小、过渡过程时间短、精度高、软件实现方便等优点。

1 渗碳及控制系统的组成

在实际渗碳过程中,煤油为渗碳剂。通过调节煤油的注入量可改变炉内的碳势(以下用 C_p 表示碳势)。测量 C_p 采用电阻探头法,在一定温度下,细铁丝处于单相奥氏体状态下其阻值随碳含量呈线性变化为

$$C_p = a + bR \quad (1)$$

式中 R 为探头电阻值, a 、 b 为常数,其值可以实验测定,对于不同尺寸的细铁丝其 a 、 b 值不同^[2]。

使用柱塞泵注入煤油而改变炉内的 C_p 值,则煤油的注入量取决于柱塞泵的注入行程,注入行程长,则加入煤油量大, C_p 值便增加。油泵的行程通过微机控制步进电机来调节,然而可控制渗碳浓度值 C_p 。采用这样的控制方式及煤油量调节的连续,有利于提高控制过程的精度。组成该测控系统的主要部件如图1所示。

2003年9月1日收稿

* 男 41岁 硕士 副教授 主要从事电子技术应用及数学系统设计方面的研究

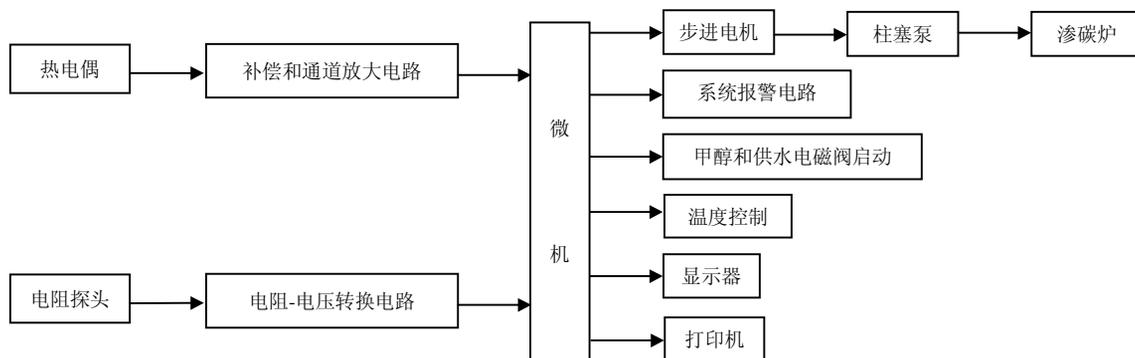


图1 测控系统主要部件

图中电阻电压转换电路是实现将探头阻值转换为微机采样所需的电压值。微机实现采样及分段参数增量式PID控制运算,发出步进电机的旋转量及旋转方向等控制信号。步进电机旋转调节柱塞泵的行程,进而控制煤油的注入量。打印机和显示器可同时打印和显示当前的实测温度和 C_p 值,甲醇和供水电磁阀也由微机控制。同时该系统还设计有超温、断偶、超碳势、工艺到时等故障检测和声光报警系统。

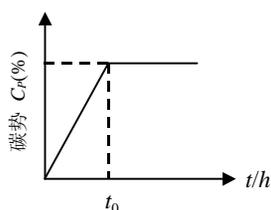


图2 单段工艺曲线

2 控制算法

在热处理过程中,通常要求碳势以一定速度增加之后保持在设定值。碳势增加过快,炉内会积成碳黑,影响渗碳控制反之会延长渗碳过程,增加热处理时间。因此一般单段工艺过程如图2所示。从图中得知工艺过程初期要求碳势以一定速度增加,当到达设定值之后保持该碳势不变。实现这一控制过程可使用步进电机旋转来调节柱塞泵行程,为调节煤油的加入量,控制算法为增量式PID算法,其算法为

$$\Delta P_k = P_k - P_{k-1} = \left[K_p e_k + K_I \sum_{i=k_0}^k e_i + K_D (e_k - e_{k-1}) \right] - \left[K_p e_{k-1} + K_I \sum_{i=k_0}^{k-1} e_i + K_D (e_{k-1} - e_{k-2}) \right] = K_p (e_k - e_{k-1}) + K_I e_k + K_D (e_k - 2e_{k-1} + e_{k-2}) \quad (2)$$

在讨论控制算法时暂取 $K_D=0$,则有

$$\Delta P_k = -K_p (e_{k-1} - e_k) + K e_k = P_1 + P_2 \quad (3)$$

$$P_1 = -K_p (e_{k-1} - e_k) \quad (4)$$

$$P_2 = K_I e_k$$

式中 ΔP_k 为增量式PID控制输出调节量, K_p 、 K_I 、 K_D 分别为PID调节的比例、积分、微分系数。 $e_k = C_{ps}(K) - C_p(K)$ 为误差量(C_{ps} 为碳势设定值, C_p 为碳势测量值)。

$$\text{设 } \Delta e_k = e_{k-1} - e_k = [C_{ps}(K-1) - C_p(K)] - [C_{ps}(K) - C_p(K)] = C_{ps}(K-1) - C_p(K-1) - C_{ps}(K) + C_p(K) = C_p(K) - C_p(K-1) \quad (5)$$

式(5)只对同一设定值成立,即 $C_{ps}(K) = C_{ps}(K-1)$ 。

由此可知 Δe_k 的物理意义为一个控制周期内碳势 C_p 的增量。从式(4)可知输出量 P_1 同 C_p 在一个周期内之增量相关,而输出量 P_2 同 C_p 的绝对误差量 Δe_k 成比例关系。则 P_2 输出量主要决定控制系统的跟踪速度,而 P_1 输出量主要决定控制系统中 C_p 在一个周期内的增量。在保持设定值期间, P_2 应为主要控制量,以保证快速跟踪设定值。

若在以上式中 K_p 、 K_I 为一个定值,则随着渗碳过程中 C_p 的增加, e_k 随之减小, $P_2 = K_I e_k$ 输出量相应减小。而此时保持 C_p 值时要求跟踪速度快, P_2 输出量的减小显然使得系统无法实现快速跟踪设定值,即影响控制精度,同时由于系统本身的滞后因素,使得控制过程达不到较好的效果。

鉴于上述分析, 本文提出分段调节 K_p 、 K_I 参数法, 当 C_p 值小时, 由于此时 e_k 大, 故 K_I 值取小一些; 而在保持 C_p 值期间, 要求快速跟踪设定值, 则 K_I 值取大一些, 同时另一参数 K_p 在保持 C_p 值时应适当减小其影响, 可适当减小 K_p 值。

从式(3)中得知, 当输出调节量 $\Delta P_k = 0$ 时, 表明此时煤油的注入速度符合要求控制的设定工艺曲线, 则可计算出此时设定工艺要求的 C_p 增加量同 K_I 、 K_p 系数的关系为

$$\Delta e_k = e_{k-1} - e_k = \frac{K_I e_k}{K_p} \quad (6)$$

在升碳势时要求 Δe_k 为常数, 在上式中, 随着 $C_p \uparrow$ 则有 $e_k \downarrow$, 可通过调节 $K_p \downarrow$ 、 $K_I \uparrow$, 使 Δe_k 为定值, 也就是 C_p 在一个控制周期内的增加量 Δe_k 不变, 这就保证了 C_p 在控制过程中以一定速度增加。设分为 n 段参数控制工艺过程, 则有 $K_{pi} < K_{pi-1}$ $K_{Ii} < K_{Ii-1}$ ($i=1,2,3,\dots,n$), 由于 K_I 值在 e_k 减小的同时, 取值增加, 则在 C_p 值已达设定值时, 其 K_I 值也应取大, 这对提高控制过程的跟踪速度有利, 同时也使得控制系统的稳定性及抗干扰能力得到相应的提高。实际调试中可根据精度要求, 选取两段以上的控制参数。实际调试情况, 使用两段参数调节控制, 可使碳势控制精度达到 $\pm 0.03\%$ 。同国内外碳势控制指标比较达到了先进水平。此法既有很好的实用性, 而且具有编程简单、参数整定容易。由前述式(3)可看出, 控制输出量仅取决于误差量, 所以对于多段不同碳势的渗碳工艺的控制过程同样适用。而且参数的选择不需要每一段进行调试。

3 控制参数整定举例

下面以两段参数调节的增量式PID算法的参数定为例来说明。可以分为 C_p 上升和保持 C_p 设定两种情况: 1) $t < t_0$ 为第一段, 参数设为 K_{p1} 、 K_{I1} ; 2) $t \geq t_0$ 为第二段, 参数设为 K_{p2} 、 K_{I2} 。

首先整定第一段参数, 由式(6)得知

$$\Delta e_k = e_{k-1} - e_k = \frac{K_{I1} e_k}{K_{p1}} \quad (7)$$

另由工艺曲线可知, 平均在一个周期内碳势 C_p 的增量为

$$\Delta e_k = \frac{\Delta C_p}{\Delta t} T = \frac{1.0-0}{t_0-0} T = \frac{T}{t_0} \quad (8)$$

式中 T 为碳势的控制周期。将式(8)代入式(6)则有

$$\Delta e_k = \frac{K_{I1} e_k}{K_{p1}} = \frac{T}{t_0} \quad (9)$$

式中 e_k 为误差量, 随着 C_p 的增加, 误差量减小。当 $C_p = 0$ 时, $e_k = 1.0$; 当 $C_p = 1.0$ 时, $e_k = 0$ 。

取偏差量 e_k 的平均值来估算 K_{p1} 、 K_{I1} 的值。则取 $e_k = 0.5$, 代入式(9)中得

$$\frac{K_{I1}}{K_{p1}} = \frac{T}{t_0 \cdot e_k} = \frac{T}{t_0 \cdot 0.5} = 2 \frac{T}{t_0} \quad (10)$$

由式(10)可确定参数 K_{p1} 、 K_{I1} 的比例关系。至于 K_{p1} 、 K_{I1} 值的进一步整定则主要由柱塞泵的功率等因素来确定。微机仅控制柱塞泵的行程大小, 而对于同一行程量的变化, 注入油量的变化随不同柱塞泵的功率而不同。

当 K_{p1} 、 K_{I1} 确定之后, 从前面得知, 适当增加 K_I 值, 同时减小 K_p 值, 即可取 $K_{I2} > K_{I1}$; $K_{p2} < K_{p1}$ 。但实际调试表明, 一般取 $K_{I2} = (1.5 \sim 3.0) K_{I1}$ $K_{p2} = (0.05 \sim 0.1) K_{p1}$ 。对于多段划分的参数整定, 此法同样适用。另外, 该控制算法对于参数的微量变化, 控制精度影响不敏感, 故参数整定较容易。

该控制软件可对渗碳工艺的全过程进行自动控制, 包括温度和碳势的各种工艺要求。系统配有打印机和显示器可同时打印和显示当前的温度和碳势的实测值。系统可完成超温、断偶、超碳势和工艺到时等自动声光报警, 同时做出适当的预处理, 是一个自动化程度较高的智能系统。程序主要框图, 如图3所示。

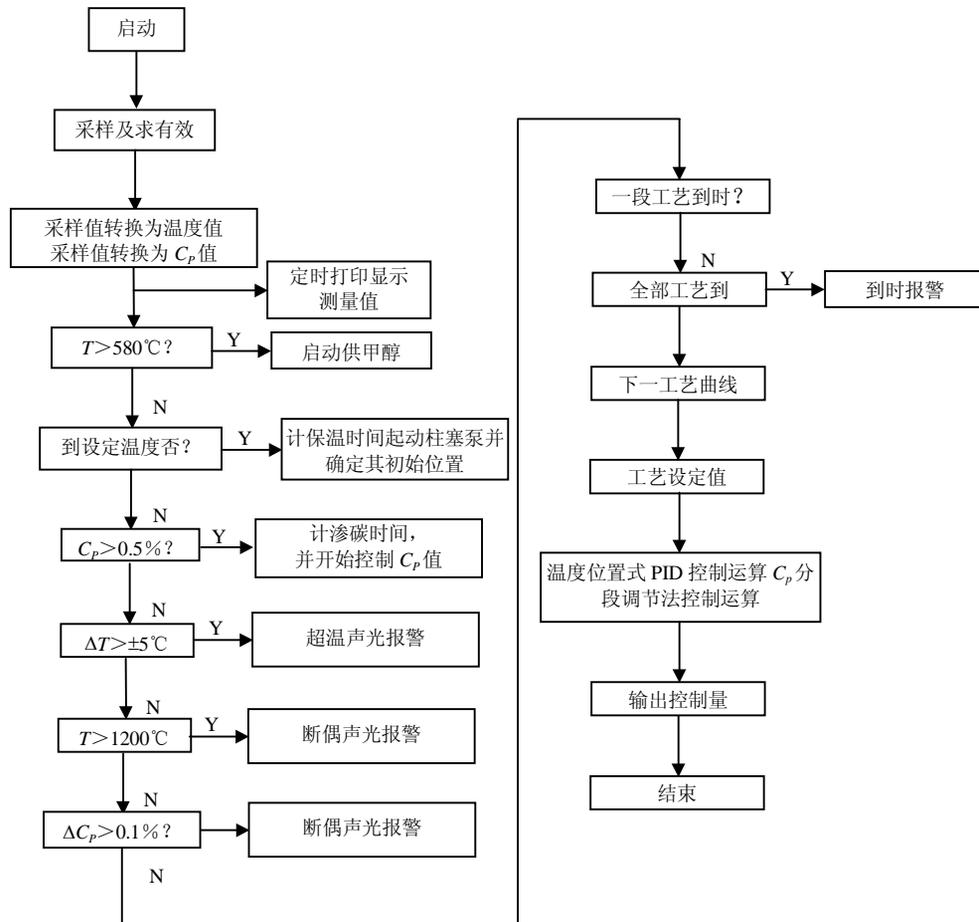


图3 程序主要框图

本文工作得到了西北工业大学曾样模教授的悉心指导，西北煤机厂热处理车间提供了经费支持和调试现场的资助，在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 侯伯亨, 李伯成. 微处理机应用系统工程设计及其实例[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1990
 [2] 任基中. 微机控制渗剂滴量检测装置[J]. 金属热处理, 1996, 6: 23-25

编辑 刘文珍

· 科研成果介绍 ·

基于分布对象技术的新一代中间件

主研人员: 周明天 王敏毅 陈 松 李琪林 姚绍文 佘 堃 赵 东

基于分布对象技术的新一代中间件是一套具有自主知识产权的中间件, 采用分布对象技术进行设计与实现。核心设计不依赖于任何系统平台, 可定制高性能通信设施和动态对象管理, 符合CORBA 2.x规范, 支持Windows和Unix操作系统平台。该软件由ORB核心、IDL编译器、名字/事件服务、系统管理和扩展设施等组件构成, 为用户提供了一个高效、灵活的分布应用开发平台, 经多家用户使用表明, 系统运行稳定、可靠、操作简便, 有广泛的推广应用前景。

· 甬 江 ·