



# 自适应调节器在电弧炉控制中的应用

杨拥民

(国防科技大学机械电子工程与仪器系 长沙 410073)

**关键词** 电弧, 辨识, 自整定, 控制

## 1 引言

电弧炉冶炼的初始期, 系统存在较大的扰动. 而在整个冶炼过程中, 电弧参数在大的范围内不断地漂移. 电弧炉的控制目的就是在这种情况下使电弧电流跟踪一个所希望的最优轨迹<sup>[1]</sup>. 在大的确定性扰动作用下, 自校正控制、模型参考自适应控制等自适应方法的稳定性较差, 而简单的 PID 控制则有较好的鲁棒性. 但对于时变对象, PID 控制的稳定性及控制精度往往得不到保证. 本文提出了一种参数自整定控制策略, 兼顾了受控对象的二个特点: 时变并有大的确定性扰动. 一方面以参数辨识的结果调整 PID 参数; 另一方面, 在扰动基本结束后不断地以自寻优的方法调整 PID 参数, 以达到较优良的控制精度.

## 2 系统的数学模型

受控对象由采样保持器、直流电机、传动机构及电弧四部分组成. 整个受控对象的传递函数为

$$G(s) = \frac{I(s)}{U(s)} = - \frac{K_i K_d}{K_t} \frac{1 - e^{-Ts}}{s^2 (T_j s + 1)}, \quad (1)$$

其中  $U$  为控制电压,  $I$  为电弧电流,  $K_d$  为时变电弧参数,  $K_t, T_j$  分别为电机的转矩系数及机电时间常数,  $K_i$  为传动机构传动系数,  $T$  为系统的采样周期.

## 3 控制策略

### 3.1 参数辨识

辨识的目的是获得被控过程的模型参数. 为此, 本文选用辅助变量最小二乘估计法. 因参数值是一个漂移量, 故必须采用遗忘因子方法, 以使估计结果能跟踪参数的变化.

将(1)式表示的受控模型离散化, 得

$$G(z) = \frac{b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} \quad (2)$$

辨识算法如下:

$$\hat{\theta}(k) = \hat{\theta}(k-1) + \mathbf{K}(k)[y(k) - \mathbf{x}^T(k)\hat{\theta}(k-1)], \quad (3a)$$

$$\mathbf{K}(k) = \frac{P(k-1)\mathbf{x}^*(k)}{\mathbf{x}^T(k)P(k-1)\mathbf{x}^*(k) + q}, \quad (3b)$$

$$P(k) = [I - \mathbf{K}(k)\mathbf{x}^T(k)]P(k-1)/q. \quad (3c)$$

其中  $q$  为遗忘因子,且

$$\mathbf{x}(k) = [-y(k-1), -y(k-2), u(k-1), u(k-2)]^T, \quad (4a)$$

$$\hat{\theta}(k) = [a_1, a_2, b_1, b_2]^T, \quad (4b)$$

$$\mathbf{x}^*(k) = [-u(k-3), -u(k-4), -u(k-1), -u(k-2)]^T. \quad (4c)$$

根据得到的参数估计值可以计算出  $K = \frac{K_i K_d}{K_t}$  的估计值  $\hat{K}$ .

### 3.2 参数的整定方式一

当采样周期较小时,可以忽略采样保持器的影响,受控过程为

$$G(s) = -K \frac{1}{s(T_i s + 1)}. \quad (5)$$

取 PI 调节器,采用模拟化方法确定参数  $K_p, T_i$ <sup>[2]</sup>,得控制器

$$D(s) = \frac{K_p}{\hat{K}(t)} \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right), \quad (6)$$

加入一适当的微分控制并离散化,得参数整定方式一算法

$$D(z) = -\frac{K_p}{\hat{K}(k)} \left[1 + \frac{T_i}{1-z^{-1}} + T_d(1-z^{-1})\right], \quad (7)$$

$\hat{K}(k)$  取  $K(t)$  的估计值. 此方法忽略了零阶保持器的影响,应对零阶保持器的影响进行检验. 如系统性能变差,应修改  $D(z)$ <sup>[3]</sup>.

### 3.3 参数整定方式二

在实际控制过程中,由于非线性及干扰的影响,使得电流输出值满足不了精度要求. 此时,应采用整定方式二. 取精度指标

$$E(k) = \sum_{i=1}^L e^2(k+1-i)/L \leq \delta. \quad (8)$$

这里,  $L$  取合适整数值,  $\delta$  为精度误差上限. 在稳态时计算  $E$  的值,满足要求时,则继续以(7)式整定控制器;不满足要求时,采用以下整定方式:不断地以  $\hat{K}$  整定比例参数,以抵消  $K$  漂移的影响. 同时采取单步寻优法,搜寻满足条件的控制参数. 这里要根据系统稳定条件确定各参数的上下界. 寻优应保证系统的稳定. 为保证控制的可靠性,采取直接搜寻法,以  $E$  为目标函数,对  $K_p, T_i, T_d$  三个参数进行寻优.

### 3.4 控制策略的实现

先以最小二乘法估计  $K$  的初值. 样本达到一定数值后,以辅助变量最小二乘法估计  $K$  值. 此时,以方式一整定参数. 冶炼到达稳态后,对控制的稳态精度进行监视. 如稳态精度达到了要求,则控制方式不变;否则切换至整定方式二整定参数. 这时,监视控制的稳定性,如果发散,则切换至整定方式一,以方式一的初始参数及此时的  $\hat{K}$  值进行控制. 控制策略的框图如图1所示

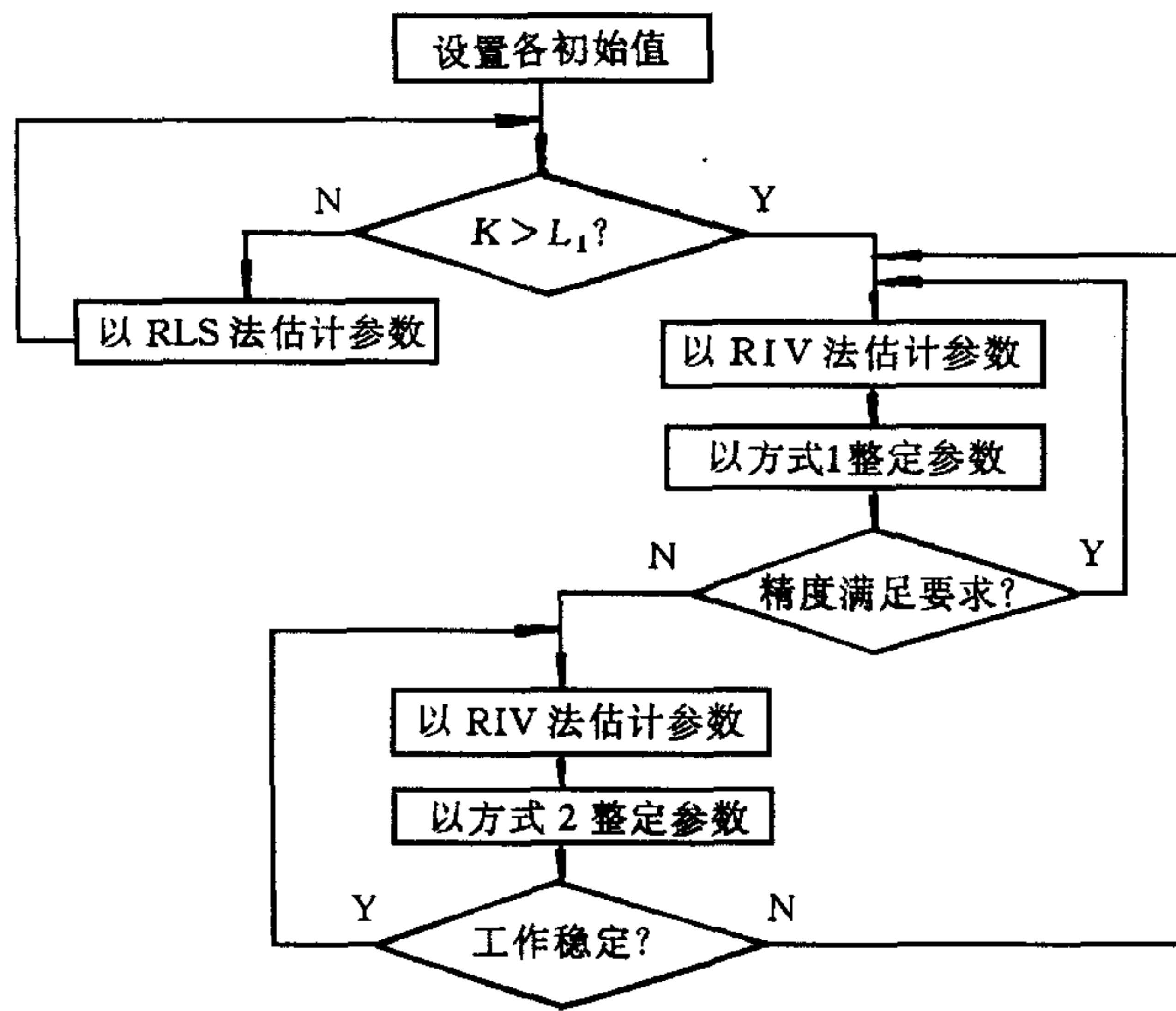


图1 控制策略框图

## 4 仿真结果及结论

设  $K_d$  是按对数率变化的参数. 仿真结果如图2所示

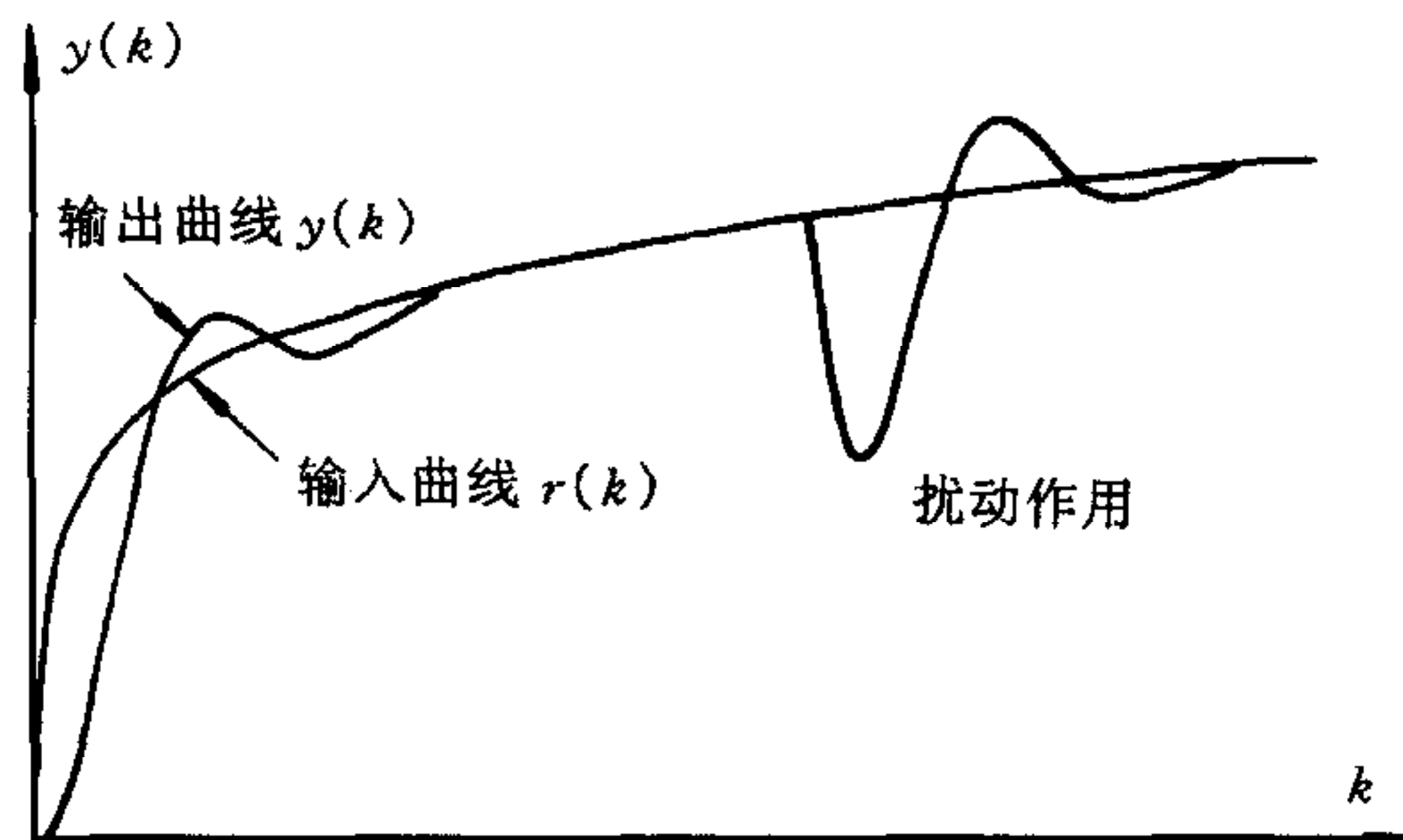


图2 仿真结果

可以看到,在控制的初始阶段,系统能在参数时变以及大的扰动作用下保持稳定,并在冶炼的平稳阶段,使控制有较高的精度.

## 参 考 文 献

- 1 武振庭. 炼钢电弧炉的电热特性. 电炉, 1981, 39(1):55-61
- 2 潘乐章. 微机在单相电弧炉上的应用. 电炉, 1988, 82(2):7-10
- 3 Dahlin E B. Designing and tuning digital controllers. *Instruments and Control System*, 1968, 41(6):77-83

## AN APPLICATION OF ADAPTIVE CONTROLLER TO THE ARC FURNACE CONTROL

YANG YONGMIN

*(Department of Mechatronics Engineering and Instrumentation  
National University of Defense Technology, Changsha 410073)*

**Key words** Electric arc, identification, self-tuning, control

### 中国自动化学会1998年主要学术活动

序号	项目名称	时间	人数	地点	联系人
1	98'中国控制会议	3季度	100	浙江	北京中关村中科院系统科学所 张纪峰 邮编 100080
2	国际自控联(IFAC)第5届低成本自动化学术交流会	9月	150	沈阳	北京丰台路84号 陈振宇 邮编 100071
3	全国第4届自动化应用技术交流学术会议	7月	200	黄山	合肥中国科技大学自动化系 陈方 邮编 230027
4	全国第4届工业控制系统应用学术交流会	8月	100	山西	太原工业大学自动化系 张忠怀 邮编 030024
5	板型测量与控制学术研讨会	3季度	100	待定	北京丰台路84号 张振华 邮编 100071
6	第9届全国电气自动化与电控系统学术年会	10月	200	京津地区	天津市河东区津塘路174号 刘凤英 邮编 300180
7	第5届全国经济与管理信息系统学术会议	7月	150	大连	北京航空航天大学管理学院管理信息系统系 刘鲁 邮编 100083
8	第7届全国青年智能机器人学术会议	3季度	150	北京	沈阳市和平区三好街90号 柳成林 邮编 110003
9	中国自动化学会第13届青年学术年会(YAC'98)	8月	150	张家界	湖南湘潭市湘潭工学院自动化工程系 YAC'98组委会 李仁发 欧青立 邮编 411201
10	中国智能自动化学术会议(CIAC'98)	5月	200	上海	北京清华大学计算机系 钱宗华 邮编 100084
11	全国第8届空间及运动体控制技术学术会议	3季度	100	待定	北京2729信箱科技委 李静 邮编 100080
12	第4届全国农业知识工程学术会议	8月	100	郑州	合肥市1130信箱 熊范纶 邮编 230031
13	近红外新技术交流学术会议	1季度	60	北京	北京宣武区建工北里1区3号楼1203室 朱蕴珍 邮编 100053
14	先进控制通用软件技术交流学术会议	1季度	100	北京	北京宣武区建工北里1区3号楼1203室 朱蕴珍 邮编 100053

(下转第284页)