

自适应控制在冷连轧张力 厚控系统中的应用

童朝南 孙一康

(北京科技大学自动化系)

徐光 杨节

(武汉钢铁学院)

方骏 王承基

(上海第十钢铁厂)

摘要: 本文分析了冷连轧机张力厚控系统,表明该系统是时变动态系统,从而确定使用最小方差自校正调节器应用于该系统。对实际系统进行了辨识模型并在此基础上进行了仿真研究。结果表明了自校正调节器控制效果优于PID调节器,而渐消记忆的递推最小二乘法是一种较好的在线辨识算法。将自校正调节器应用于实际张力厚控系统,使得带钢厚差得到明显改善。

关键词: 冷轧机, 张力厚控, 辨识, 仿真, 自校正, 调节器

The Application of Adoptive Control to the Tension-AGC System on Cold Tandem Mill

Tong Chaonan Sun Yikang Xu Guang

ABSTRACT: The analysis of tension AGC system in the tandem cold mill shows that it is a time-varying dynamic system, so that the minimum variance self-tuning regulator is used. After the system is identified and simulated, the results show that the control effect of self-tuning regulator is better than that of PID regulator and the recursive least square with forgetting factor is a better identification algorithm. The application of self-tuning regulator in an actual tension AGC system shows that the gauge deviations of the controlled strip

are greatly decreased.

KEY WORDS: cold mill, identification, self-tuning, regulator, tension AGC

轧钢生产过程应用了古典的PID 调节理论, 曾收到良好的效果。但是, 对于高质量、多规格的产品, 古典控制显出明显的不足。自校正调节器的应用能克服这种缺点。

本文是以上钢十厂二车间350mm 3 机架冷连轧机组为对象, 采用自校正调节器控制算法并用于该机组的张力厚控系统, 对系统进行系统辨识和离线数字仿真, 最后进行现场控制试验。

1 控制对象与控制思想的概述

张力厚控是根据第三机架后面的成品测厚仪测出的厚度偏差信号来控制第三机架的速度, 以改变2*~3*机架间张力, 实现厚度控制的。为了提高系统的响应性, 我们将控制信号直接加在第三机架主传动可控硅装置的速度调节器入口。系统框图见图1。图中 V_2 、 V_3 分别为2*、3*机架的线速度。 $W_3(Z)$ 为第三机架的速度环节, $W_1(Z)$ 为张力模型, $W_4(Z)$ 为张力厚度工艺模型, Z^{-d} 是纯滞后环节, d 是随着 V_3 的改变而时变, $W_5(Z)$ 是计算机控制模型。有关 $W_3(Z)$, $W_1(Z)$, $W_4(Z)$ 的模型描述可参阅文献[1]。由图1可见本系统除了含有主传动速度控制系统、带钢张力方程及控制器等动态环节外, 还含有一个较大的纯滞后环节。由于第三架轧辊线速度被用于调节张力, 因此系统中纯滞后环节是时变的。考虑到在轧制不同规格产品时各机架速度设定将不同, 同时张力对厚度变化的影响亦将不同, 再加上动态环节的元件参数漂移以及轧辊热膨胀都会造成系统慢时变, 还必然存在着各种随机干扰。因此决定采用最小方差的自校正调节器实现张力调厚控制, 以提高系统的适应能力, 使得在不同钢种和规格的产品生产中, 成品厚度精度均得到提高。

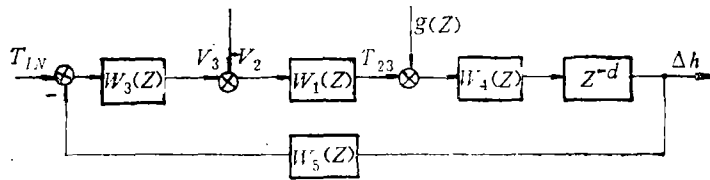


图1 张力厚控系统框图

Fig. 1 Diagram of the tension control system

2 系统辨识

由系统的固有特性, 首先作辨识实试设计, 其中辨识时的激励信号定为6阶最大长度伪随机二位式序列。信号参数为: 钟周期 T 为200ms, 长度 $Np = 2^6 - 1 = 63$, 幅值为0.5V, 序列周期为 $T = Np \cdot \lambda = 12.6s$ [2]。计算机发送的序列输入到第三机架主电机速度调节器上, 输出信号为成品带钢厚差。其中使用了多种参数估计拟合并验证了模型 [3]。最后用广义最小二乘算法离线处理出如下二阶系统模型:

$$y(k) = 0.6451y(k-1) - 0.10388y(k-2) - 0.34669u(k-d) - 0.7407u(k-d-1) \quad (1)$$

式中 $d-1$ 为变化参数,其值随着第三机架速度变化而不一定为整数。这就造成了在不同的轧制速度下,系统模型是不固定的,而在加减速轧制过程中,系统的时变性更为突出。

3 计算机数字仿真

用离线得到的二阶线性系统模型(1)式进行仿真研究,以确定在线参数估计方法并进行控制算法的比较。参数的初始值选取为 $\hat{\theta}(0) = 0.0$, $P(0) = 200000 \times 200000$ [2]

3.1 自校正调节器和PID调节器控制效果比较

在系统的输入端加一按正弦规律变化的干扰信号幅值为5.0,在一个周期内等间距取90个点,系统的输出设定值为0。用增量式PID调节器和最小方差自校正调节器分别进行控制。经过多次调试,得到最佳的PID参数为:比例系数为1.2;积分系数0.9;微分系数1.0。取100个控制点计算输出值 $y(k)$ 的方差,结果控制前系统输出方差为1137.0,PID控制达最佳状态后方差降为376.6;而采用自校正控制后方差又降为179.5。三者比较情况见图2所示。并考虑到在生产过程模型参数的可能变动,在第50步时变动了模型参数,其结果PID控制由于参数不能自适应输出方差达616,而自校正控制输出方差为253。可以看出自校正调节器控制效果优于PID调节器。

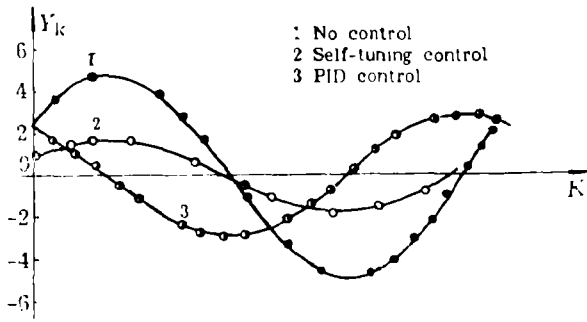


图2 自校正调节器与PID控制效果的比较

Fig. 2 The comparison of control effect with self-tuning and PID regulator

3.2 无干扰噪声时, 参数估计的收敛情况

以(1)式为对象,分别使用了递推最小二乘法、渐消记忆的递推最小二乘、递推增广矩阵法、递推辅助变量法进行了计算。结果表明了在无干扰噪声情况下,几种参数估计的递推算法收敛都很快,其参数估计接近真值。渐消记忆的遗忘因子为 $\lambda = 0.9$ 。

3.3 有干扰噪声时, 参数估计的收敛情况

图3表明了参数 a_1 的收敛情况,其它参数收敛情况与此类似。系统受到10%左右的随机噪声干扰时,参数收敛速度降低,精度同时均有下降。此时递推最小二乘法和渐消记忆最小二乘法虽然使估计的参数有不同程度地发生波动,但均可趋向真值。另外两种算法情况不

好。这将表明在线控制时其自校正辨识算法不一定追求十分复杂,而最小二乘算法值得重视。

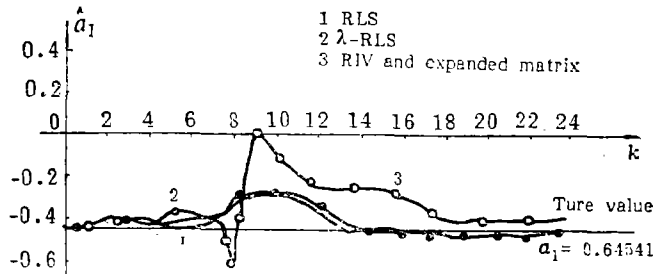


图3 a_1 参数的递推估计

Fig. 3 Recursive estimation of a_1 parameter

3.4 模型参数突变时参数估计的收敛性

在递推辨识过程中,从第7步开始将(1)式模型改变为如下模型:

$$y(k) = 0.34541y(k-1) - 0.78879y(k-2) - 0.04669u(k-d) - 0.48074u(k-1-d) \quad (2)$$

这时,递推辅助变量法不能跟踪参数的变化;渐消记忆递推最小二乘法具有较强的参数跟踪能力,即使模型参数有较大变动时,也能很快地逼近新的参数真值;递推最小二乘法 and 增广矩阵法比较缓慢地逼近新参数真值。仿真结果表明渐消记忆递推最小二乘法是一种较好的在线辨识算法。它具有较强的跟踪参数时变的能力,又具有计算量小和抗干扰等特点。此方法应用于自校正调节器是较适宜的。

在仿真过程中遗忘因子 λ 的选取范围在0.9~0.98之间。具体选什么数值尚无理论性证明,只能是通过实际工作,尤其是在现场系统调试中摸索试探,直到控制效果跟踪特性都得到满意时为止。

4 实际应用效果

把最小方差自校正调节器^[4]应用于上钢十厂350mm三机架冷连轧机组2[#]~3[#]机架间张力厚控系统,所使用的计算机是Cromenco I微处理机,自校正调节器算法是用FOKTRAN语言编写的。现场控制时的周期约为350ms上下变动。来料尺寸为2.5mm×198mm,钢种为BY2F,成品尺寸为0.9mm×198mm。

为了进行实时在线控制,可将被控对象的数学模型写成预报模型^[4]

$$y(k+d) = -\alpha(z^{-1}) \cdot y(k) + \beta(z^{-1}) \cdot u(k) + \varepsilon(k+d) \quad (3)$$

可推算出最小方差控制律为:

$$u(k) = \frac{\alpha(Z^{-1})}{\beta(Z^{-1})} \cdot y(k) \quad (4)$$

式中: $\alpha(Z^{-1}) = \sum_{i=1}^p \alpha_i Z^{-i+1}$; $\beta(Z^{-1}) = \sum_{i=0}^q \beta_i Z^{-i}$;

$p \geq n$; $q \geq n+d-1$; n 为系统模型的阶。

在实时控制过程中, 每个采样控制周期内不断地辨识出预报模型的参数 $\alpha(Z^{-1})$ 、 $\beta(Z^{-1})$, 然后用(4)式计算出控制量通过计算机及过程输出接口输出到电控系统的速度调节器输入端。

根据计算机实测数据整理出具有代表性的情况示于图4, 图5中。图4为人工操作和自校正控制均为在最坏的来料波动情况下的厚差比较, 人工操作时的厚度波动在 $+40 \sim -60 \mu\text{m}$, 厚度均方差为 $36 \mu\text{m}$; 采用自校正控制后厚度波动在 $\pm 20 \mu\text{m}$ 以内, 厚度均方差为 $12 \mu\text{m}$ 。图5为两者控制均处于来料为最佳条件下的厚差比较, 人工操作时, 带钢纵向厚度波在 $+40 \sim -10 \mu\text{m}$, 其厚度均方差为 $20 \mu\text{m}$; 采用自校正控制后, 厚差波动在 $+15 \sim -10 \mu\text{m}$ 之内, 厚度均方差仅为 $6.3 \mu\text{m}$ 。由此看出二者的明显差别。

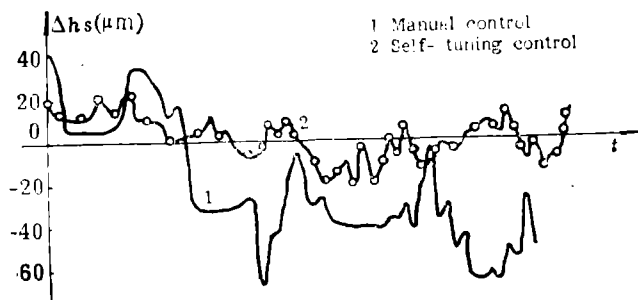


图4 自校正和人工控制效果
Fig. 4 The effect of self-tuning and manual control

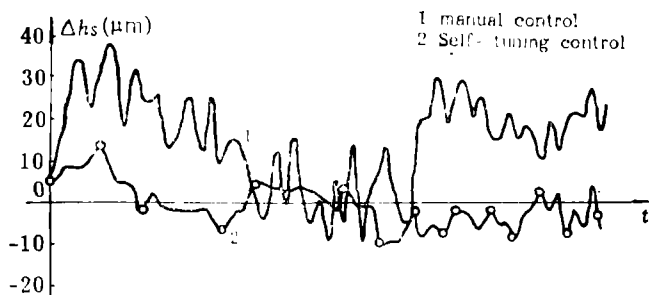


图5 自校正和人工控制效果
Fig. 5 The effect of self-tuning and manual control

6 结 论

(1) 对于冷轧带钢的成品厚度在 $0.1 \sim 0.5 \text{mm}$ 之间, 应用自校正调节器算法于张力厚控系统是完全可行的, 并能比人工轧制时厚度精度提高50%以上, 特别是对于小偏差调节, 其效果明显的优于PID调节和压下AGC控制。

(2) 在测厚仪和张力仪表精度较高的情况下, 可应用运算法来实现高精度轧机的控制。特别是轧制规格更换频繁, 每卷钢轧制时间较长的过程效果更为突出。

(3) 由于算法比较复杂, 运算量大, 对计算机速度要求较高。

(4) 在仪表系统精度和产品要求精度不高的情况下, 不宜采用这种算法, 即使采用, 可能会造成精度不如PID调节器好。其主要原因是系统鲁棒性比PID差。

参 考 文 献

- 1 孙一康. 带钢热连轧数学模型基础, 冶金工业出版社, 1979; 12
- 2 韩光文. 辨识与参数估计, 国防工业出版社, 北京, 1980; 12
- 3 徐南荣. 系统辨识导论, 电子工业出版社, 1986; 5
- 4 Harris C J, Billings S A, *Self-Tuning and Adaptive Control, Theory and Applications*, 1981