

文章编号 1000 5013(2004) 01 0110 03

四辊液压轧机厚度预控和监控系统

张家冰 韩文秀

(天津大学管理学院, 天津 300072)

摘要 在四辊液压轧机位置闭环系统动态分析的基础上, 分析厚度预控和监控的功能、组成数字控制器的设计方法, 以及微机实现的具体方案. 将其应用到 $\Phi(210\sim 500)\text{ mm}\times 800\text{ mm}$ 四辊液压轧机上, 使轧机具有较强的消差能力, 并使出口带材能锁定在要求的目标尺寸上.

关键词 液压轧机, 厚度自动控制, 数字控制器, 位置闭环系统, 消差

中图分类号 TG 333; TG 659 **文献标识码** A

现代液压轧机 AGC 系统, 不仅有位置闭环系统, 而且在轧机入口侧和出口侧分别安装有测厚仪. 它所构成预控和监控系统, 实现对位置闭环系统辊缝设定值适时修正^[1]. 对液压轧机位置闭环系统进行动态分析^[2], 同时考虑投入预控和监控系统. 轧机一侧动态模型的信号流程图^[3], 如图 1 所示. 在图 1 中, $G_1(s) = K_i G_i(s) \times K_{sv} G_{sv}(s) \times K_q$, 其中 $K_i G_i(s)$ 为位置闭环系统调节器的增益; $K_{sv} G_{sv}(s)$ 为电液伺服

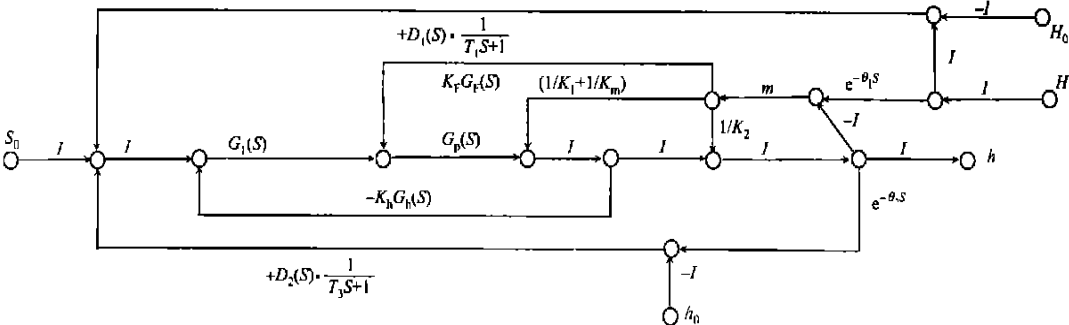


图 1 轧机一侧信号流程图

阀的增益, 为二阶振荡环; K_q 为流量增益, 比例环; $K_F G_F(s)$ 是由轧制力引起的油缸油的压缩和泄漏的增益, 比例微分环. $G_p(s)$ 是油缸的增益, 积分环加二阶环; $K_h G_h(s)$ 为位移传感器的增益, 近似为惯性环. $1/k_m$ 为机架变形增益, 比例环. $1/K_1$ 为支承辊及工作辊外侧变形的增益; $1/K_2$ 为工作辊内侧变形增益, 比例环. m 为材料变形阻力的增益. H 为入口测厚仪检测的厚度, 与压下点之间的增益为 $e^{-\theta_1 s}$, $\theta_1 = L/V_1$, V_1 为入口侧的带材速度. 测厚仪输出信号取偏差信号, 即 $\Delta H = H - H_0$. H_0 为测厚仪上的厚度设定值. 测厚仪检测点的厚差和输出电信号之间的增益, 可以认为是时间常数 T_1 的一阶惯性环 $1/(T_1 s + 1)$. $D_1(s)$ 为要求设计的预控调节器的增益, 以实现消除入口厚度波动对出口厚度的干扰.

1 预监控数字控制器的设计

1.1 预控数字控制器的设计

在未投入 $D_1(s)$ 和 $D_2(s)$ 时, 首先求出从 S_0 到 h 之间的增益 G_1 . 在实际应用中, 考虑到 $G_1(s) \gg \frac{m}{K_2}$, $G_1(s) \gg m \frac{1}{K_m} + \frac{1}{K_1}$, $G_1(s) \gg m K_F G_F(s)$. 经计算、整理并略去次要项后, 可得

$$G_1 = \frac{\Delta h(s)}{\Delta S_0(s)} = \Phi(s) \cdot [1/(1 + \frac{m}{K_2})] = \Phi(s) \cdot \frac{K_2}{m + K_2}, \tag{1}$$

令 $\Phi(s) = \{G_1(s) \cdot G_p(s) / [1 + G_1(s) \cdot G_p(s) \cdot K_h G_h(s)]\}$. $\Phi(s)$ 实际上为略去 $K_F G_F(s)$ 及 $(1/K_1 + 1/k_m)$ 后的位置闭环增益. 求入口厚度 H 到出口厚度 h 之间的增益. 经计算、整理, 略去次要项后可得

$$G_2 = \frac{\Delta h(s)}{\Delta H(s)} = \frac{m}{K_2 + m} \cdot e^{-\theta_1 s}. \tag{2}$$

式(2)表达了入口厚度对出口厚度的干扰. 设计预控调节器 $D_1(s)$, 以消除入口厚度波动 ΔH 对出口厚度的影响. 即通过 $D_1(s)$ 修正 S_0 值, 使最终出口厚度变化 $\Delta h = 0$. 可以令当 $D_1(s)$ 投入后, $G_3 = \Delta h(s) / \Delta H(s) = 0$. 经计算整理, 略去次要项, 得 $G_3 = D_1(s) [1/(T_1 s + 1)] \cdot G_1 + G_2 = 0$. 那么, $D_1(s) = m/K_2 \cdot \Phi(s) \cdot (T_1 s + 1) \cdot e^{-\theta_1 s}$, $\Phi(s)$ 为主压下闭环增益. 一般调整 $K_1 G_1(s)$, 使位置闭环具有一阶环或二阶环性质. 在不影响精度情况, $\Phi(s)$ 为 $1/(T_2 s + 1)$, T_2 为位置闭环时间常数, 则

$$D_1(s) = \frac{-m}{K_2} \cdot e^{-\theta_1 s} \cdot (T_1 s + 1)(T_2 s + 1) = \frac{-m}{K_2} \cdot e^{-(\theta_1 - T_1 - T_2)s}. \tag{3}$$

由式(3)可见, $D_1(s)$ 是由延时环组成的, 其延时时间为 $(\theta_1 - T_1 - T_2)$. θ_1 为可变值. 因此, 用硬件方法来实现是困难的, 用 PLC 来实现则比较简单的^[4]. 为此, 应将其离散化, 进行 z 变换, 可求得厚度预控的数字控制器为

$$D_1(Z) = Z[\frac{-m}{K_2} \cdot e^{-(\theta_1 - T_1 - T_2)s}].$$

设采样周期为 T , 且 $\theta_1 - T_1 - T_2 = N \cdot T$, N 为整数, 则 $D_1(z) = \frac{-m}{K_2} \cdot z^{-N}$, 而 $D_1(z) = \frac{\Delta S_0(z)}{\Delta H(z)}$. 所以, $\Delta S_0(z) = \Delta H(z) \cdot \frac{-m}{K_2} \cdot z^{-N}$, 将其写成差分方程为

$$\Delta S_0(i) = v \cdot \Delta H(i - N). \tag{4}$$

式(4)中 $\Delta S_0(i)$ 为第 i 次计算机的输出值, $\Delta H(i - N)$ 为第 $i - N$ 次采样的入口厚度偏差值, $v = m/K_2$ 为预控压下率.

1.2 监控数字控制器的设计

为了满足最终产品的目标尺寸, 利用出口侧安装的测厚仪实现厚度监控. 在图 1 下面部分画出了监控部分, 其中 h 为经压下后出口侧的厚度, 经延时环 $e^{-\theta_2 s}$ 后送到测厚仪检测点, $\theta_2 = L/V_2$, V_2 为出口侧带材速度. H_0 为侧厚仪上的厚度设定值, T_3 为测厚仪的时间常数. 当入口侧和出口侧选用相同型号的测厚仪时, $T_3 = T_1$. $D_2(s)$ 为设计的监控调节器的增益函数. 设 $\Delta h = h - h_0$, 则辊缝给定修正量为

$$\begin{aligned} \Delta S_0 &= (h \cdot e^{-\theta_2 s} - h_0) \cdot (1/T_3 s + 1) \cdot D_2(s) = \\ &[(h_0 \cdot e^{-\theta_2 s} - h_0) + \Delta h \cdot e^{-\theta_2 s}] \cdot 1/(T_3 s + 1) \cdot D_2(s), \end{aligned}$$

其中 h_0 为设定恒值. 由于 $h_0 \cdot e^{-\theta_2 s} - h_0 = 0$, 所以

$$\Delta S_0 = \Delta h \cdot e^{-\theta_2 s} \cdot 1/(T_3 s + 1) \cdot D_2(s). \tag{5}$$

当修正量为 ΔS_0 时, 对出口厚度产生的变化量可计算得

$$\Delta h' = \Delta S_0 \Phi(s) \cdot K_2/(K_2 + m). \tag{6}$$

同样, $\Phi(s) = \frac{1}{T_2 s + 1}$, 将式(5)代入式(6)可得

$$\Delta h' = \Delta h \cdot e^{-\theta_2 s} \cdot \frac{K_2}{K_2 + m} \cdot \frac{1}{T_2 s + 1} \cdot \frac{1}{T_3 s + 1} \cdot D_2(s).$$

当修正值 $\Delta h'$ 和原变化值 Δh 之和为 0, 即 $\Delta h' + \Delta h = 0$ 时, 为最佳修正. 由此可得

$$D_2(s) = -\frac{k_2 + m}{K_2} \cdot e^{+\theta_2 s} (T_3 s + 1)(T_2 s + 1) = -\xi \cdot e^{(\theta_2 + T_3 + T_2)s},$$

其中 $\xi = (k_2 + m)/K_2$ 为监控压下率. 本系统设计为 0.5~10.0 连续可调. 同样, 为了求取适合于 PLC 控制的数字控制器, 将 $D_2(s)$ 进行 Z 变换, 得 $D_2(Z) = Z[D_2(s)] = Z[-\xi \cdot e^{(\theta_2 + T_3 + T_2)s}]$. 设采样周期为

T , 令 $\theta_2 + T_3 + T_2 = NT$, N 为整数. 那么, $D_2(Z) = -\xi \cdot Z^N$, 而 $D_2(Z) = \Delta S_0(Z) / \Delta h(Z)$. 即 $\Delta S_0(Z) = \Delta h(Z) \cdot \xi \cdot Z^N$. 写成适合 PLC 运算的差分方程为

$$\Delta S_0(i) = -\xi \cdot \Delta h(i + N), \quad (7)$$

其中 $\Delta S_0(i)$ 为第 i 次计算机输出值, $\Delta h(i + N)$ 为第 $i + N$ 次采样的出口厚度偏差值.

2 预监控的实现

从预控差分方程(4)可见, 本次的修正量为以前第 N 次的入口厚度偏差测量值, 是过去值, 是已知的. 因此, 该方程是可实现的. 本系统中, 我们在导向辊上安装一光电脉冲发光器($1\,000$ 个 $\cdot r^{-1}$), 以测量带钢移动的距离. 并将 L 长分割为 45 段, 则每段计数值为 $n_0 = \frac{L}{\pi d} \times 1\,000 / 45$, d 为导向辊直径, 考虑 T_1 和 T_2 的影响. 为了准确修正, 实际每段计数值为 $n = \frac{L - (T_1 + T_2) V_1}{\pi d} \times 1\,000 / 45$. 设 $\frac{T_1 + T_2}{45} = \tau$, 则 $n = n_0 - \frac{\tau \cdot v_1}{\pi d} \times 1\,000$, 其中 $\frac{\tau \cdot v_1}{\pi d} \times 1\,000$ 是指 τ 时向内的计数值. 因此, 只要每段按 n 值进行计数, 则经过 45 段后, 将预控测厚仪原先采样的相应信号乘以 $(-v)$ 后, 输出给压下装置, 就可实现准确修正.

监控差分方程(7)中的 $\Delta h(i + N)$ 项, 是指 $i + N$ 次采样的出口厚度偏差值. 对第 i 次修正输出量而言, 是未来值, 是未知的. 因此, 用 PLC 实现式(7)是不可能的. 为此, 我们应用试探法, 取采样周期 $T \geq \theta_2 + T_2 + T_3$, 则 $N = 1$, 式(8)变为 $\Delta S_0(i) = -\xi \cdot \Delta h(i + 1)$. 其意义为本次的修正量是由下次出口厚度偏差值而定. 因此, 在压下完成或监控修正信号输入主压下后, 等待钢带传递 $L + (T_3 + T_2) V_2$ 后(V_2 为出口侧速度), 进行厚度采样, 以判别上次修正是否合适. 如果仍有偏差, 则继续修正; 若无超差, 则不修正, 如此重复工作.

3 结束语

本文介绍的设计方法, 编程简单, 控制准确. 它已成功应用在四辊轧机上, 实践证明具有推广价值.

参 考 文 献

- 1 张宗欣. 可逆式四辊带材冷轧机液压 AGC 系统[J]. 重型机械, 1990, (2): 13~18
- 2 张宗欣. 液压轧机厚度自动控制及微机应用[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 1991. 63~79
- 3 夏德铃. 自动控制理论[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999. 34~38
- 4 谢剑英. 微型计算机控制技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998. 165~187

Thickness Precontrol and Monitored Control System for the Use of Four-Roll Hydraulic Mill

Zhang Jiabing Han Wenxiu

(College of Manag., Tianjin Univ., 300072, Tianjin, China)

Abstract Based on the dynamic analysis of position loop system for the use of four-roll hydraulic mill, analyses of thickness precontrol and monitored control function and constituent are given; and the design procedure of a digital controller and specific plan of microcomputer implementation are also given. This design procedure has been successfully applied to a $\Phi(210 \sim 500)$ mm \times 800 mm four roll hydraulic mill, which makes the mill to have powerful capacity of error elimination and makes export strip steel to be locked in target size as required.

Keywords hydraulic mill, automatic control of thickness, digital controller, position loop system, error elimination

本期英文审校 李 坚