

# 高速铝板轧机液压厚调计算机 控制系统研究

史庆周 孟庆有 赵恒传 邢德臣  
(东北重型机械学院) (第一重机厂)

## 摘 要

本文给出了我国自行研制的并成功地应用于大型铝板冷轧机上的计算机控制液压厚调系统。系统的工作原理及控制模型比较先进, APC 系统响应速度快, 厚度控制精度高。实际应用表明: 系统的软硬件工作稳定可靠, 操作简便, 经济效益显著, 可推广应用。

**关键词**——计算机控制, 轧机控制, 控制模型, 厚度控制。

## 一、引 言

本文给出的微机控制液压厚调系统是国家经委下达的“高速铝板轧机计算机控制”课题的一部分, 这项成果已通过了国家委级鉴定。

目前常见的国内外厚控系统, 其闭环控制部分均采用经典的 PID 控制规律。但是常规的 PID 控制方式限制了系统性能的进一步提高。本文就是从上述问题出发, 结合某厂 1700 毫米大型可逆铝板冷轧机的生产实际, 经过理论研究, 实验室试验, 计算机仿真, 研制了计算机控制装置, 并成功地完成了工业试验和应用。

## 二、冷轧机厚控数学模型

由于该轧机轧制的铝板品种多, 工艺参数相差很大, 对系统的要求相当严格。为此, 对厚控系统设计成由位置、压力、测厚监控、张力和厚度预控等五个回路组成。由于生产轧机工作条件限制, 只安装一台测厚仪, 不便安装张力辊, 对张力 AGC 和预控未进行工业试验。

### 1. 对象数学模型

被控对象包括电液伺服阀、液压缸及轧机机械系统组成。根据工作过程, 轧机的设计参数和实测参数, 利用有关定律和原理可推导出对象的传递函数为

$$\frac{S_m(S)}{U(S)} = \frac{K_i K_{sv} K_q}{\omega_2 A_h \left( \frac{S}{K_{rf}} + 1 \right) \left( \frac{S}{\omega_r} + 1 \right) \left( \frac{S^2}{\omega_v^2} + \frac{2\delta_v}{\omega_v} S + 1 \right) \left( \frac{S^2}{\omega_0^2} + \frac{2\delta_0}{\omega_0} S + 1 \right)}, \quad (1)$$

式中  $K_i = 0.0023$  1/欧,  $K_{sv} = 4.03$  厘米/安,  $K_{vf} = 630$  1/秒,  $\omega_v = 3470$  1/秒,  $\delta_v = 0.35$ ,  $K_q/A_h = 7.95$  1/秒,  $\omega_2 = 0.036$  1/秒,  $\omega_r = 0.33$  1/秒,  $\omega_0 = 890$  1/秒,  $\delta_0 = 0.15$ ,  $S_m$ ——辊缝位移,  $U$ ——伺服阀的输入电压。

## 2. APC 系统模型

由式(1)可见,对象为复杂的六阶系统,作者曾依式(1)设计了控制模型,但在生产中不易实现。为此,现场实测了对象特性(包括位移传感器在内),测出在工作频宽内为一典型的二阶环节。因此,有理由把对象与位移传感器串联后,代入实际参数,略去高阶无穷小量,并采用计算机仿真对参数进行拟合修正,最后近似化为二阶环节,即:

$$\frac{U_1(S)}{U(S)} = \frac{K_1}{S(T_1 S + 1)}, \quad (2)$$

式中,  $U_1$ ——位移传感器的输出电压,  $U$ ——伺服阀的输入电压,  $K_1 = 0.674$ ,  $T_1 = 0.0068$ 。工业试验结果证明式(2)是正确的。虽然液压系统在大开口度下有显著非线性,但在正常轧制工作状态下,系统是在线性段工作的。因此,依对系统的性能要求,按现代控制理论设计成无纹波快速最佳系统。经过两步控制,可在位置和速度上跟上输入量。当采样周期  $T = 0.01$  秒时,可得 APC 系统的实际控制公式:

$$U(K) = 192.66[U_g(K) - U_1(K)] + 266.2[U_g(K) - U_g(K-1)] - 117.83[U_1(K) - U_1(K-1)], \quad (3)$$

式中,  $U(K)$ ——微机输出的控制电压,  $U_g(K)$ ——辊缝位置的给定电压,  $U_1(K)$ ——位移传感器输入微机的反馈信号电压。

## 3. 压力 AGC 系统模型

这里采用的是我国提出的动态设定变刚度厚控方法<sup>[1]</sup>,在响应速度和稳定性方面都优于 BISRA 方法,且与监控和预控是相容的,设定的轧件塑性系数误差不影响系统正常工作。所推导出的控制公式为

$$\Delta S_m(K) = -K_3 \frac{Q}{M} \Delta S_m(K-1) - K_4 \frac{M+Q}{M^2} \Delta P_k, \quad (4)$$

式中  $\Delta S_m(K)$ ——第  $K$  步辊缝改变量,  $\Delta S_m(K-1)$ ——第  $K-1$  步辊缝改变量,  $M$ ——轧机刚度系数,  $Q$ ——铝板塑性系数,  $K_3$ 、 $K_4$ ——变刚度系数,可由式(5)计算:

$$K_3 = K_4 = K = \frac{M_c - M}{M_c + Q}, \quad (5)$$

其中,  $M_c$  为当量刚度系数,可在  $0-\infty$  范围内变化。当  $M_c = M$  为自然刚度,  $M_c > M$  为硬刚度,  $M_c < M$  为软刚度。

## 4. X 射线测厚监控系统模型

它是个大滞后系统,滞后环节  $e^{-s\tau}$  的参数  $\tau$  随轧制速度时变而变化,且对象为变参数。本系统的任务是消除剩余厚差,为此需设计成无差系统,积分控制是有益的。为提高响应速度和稳定性,并考虑轧制速度与  $\tau$  的变化关系,这里设计成比例积分变参数控制,

其控制公式为

$$\Delta U_x = K_x \left[ (\Delta h_n - \Delta h_{n-1}) + \frac{T_c}{T_x} \Delta h_n \right], \quad (6)$$

式中  $\Delta U_x$  为监控反馈回路产生的控制信号,  $K_x$  为变增益系数,  $T_x$  为变积分时间常数,  $T_c$  为监控回路采样周期,  $\Delta h$  为板厚偏差. 将上述位置、压力和监控环综合在一起的控制原理图如图 1 所示.

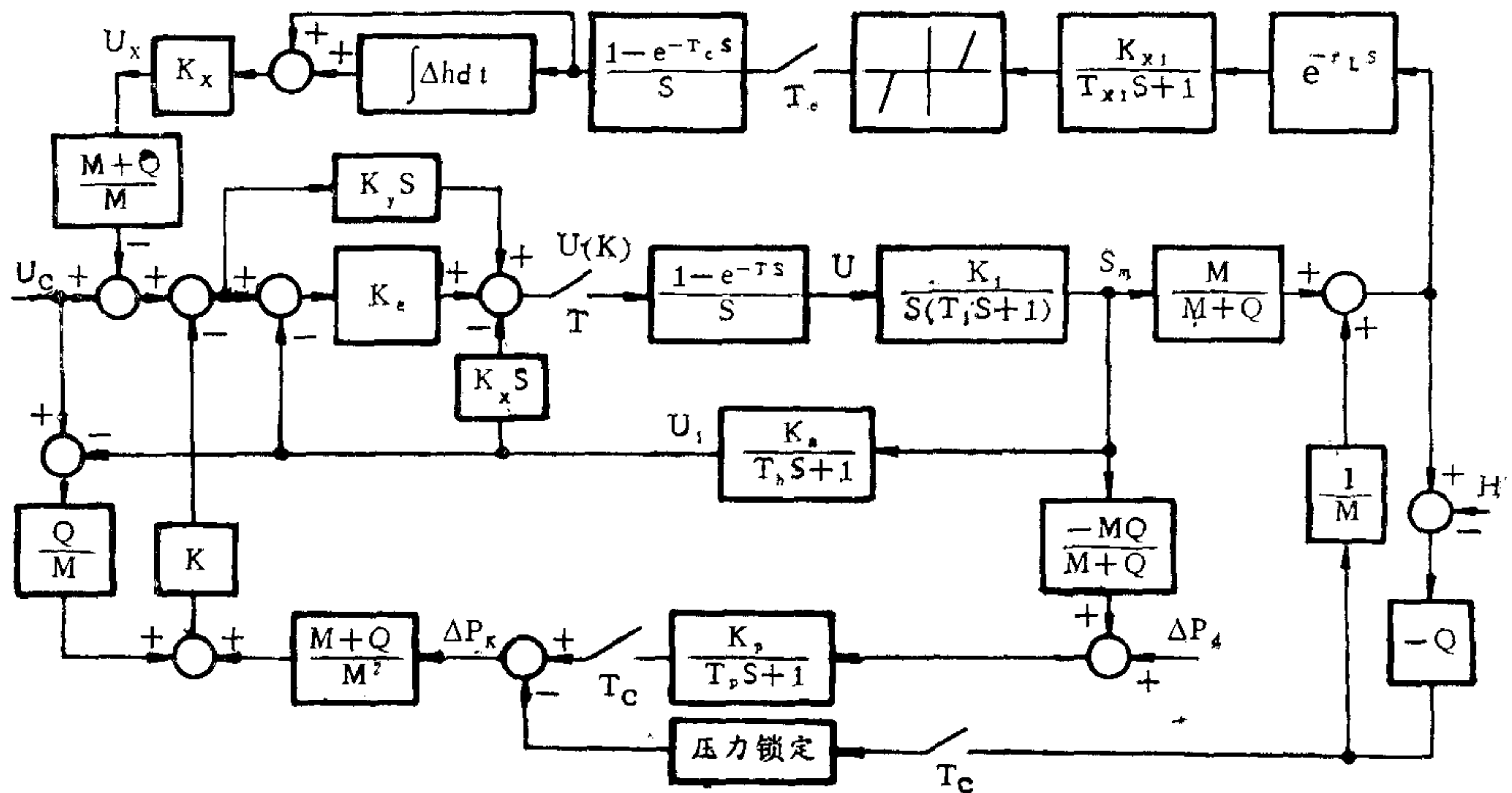


图 1 控制原理图

### 三、计算机软硬件

#### 1. 硬件系统

控制装置中的微机由 CROMEMCO 公司的功能模板组装而成, 采用 ADC 12 和 DAC 12 作为 12 位 A/D 和 D/A 转换板. 外部电路采用抗干扰强的 CMOS 电路, 外部电路与微机之间采用了光电隔离和直流电压隔离器. 为减少操作台与控制柜之间的连线, 设计了串行接口电路. 为保证正常生产, 设计了各参量的超限报警和保护电路. 为使系统工作稳定可靠, 采用许多抗干扰措施.

#### 2. 软件系统

为了提高系统的快速性, 采用汇编语言编制程序, 源程序分控制程序、宏指令库和子程序库三个文件. 除按给出的控制模型编制程序外, 还编制了预压靠、位置点动、显示、报警和数字滤波等程序. 在系统工业运行调试后, 去掉不可靠的磁盘驱动器, 把控制程序固化到 EPROM 中, 系统一开机就在自行研制的监控程序下运行. 监控程序要对系统各硬件进行软件检查. 为保证程序和数据的正确性, 还编制了求检查和程序. 监控程序有扩充性.

## 四、系统的工业应用

快速最佳 APC 系统响应速度快,当加 0.1 毫米阶跃信号时,响应速度为 30 毫秒。只投入 APC 系统,成品厚差一般可控制在  $\pm 20$  微米以内。当位置环和监控环同时投入时,成品厚差可控制在  $\pm 10$  微米以内。动态设定变刚度压力 AGC 比常用的 BISRA 压力 AGC 响应速度快 2—3 倍。三环综合控制精度,当成品厚度为 0.8 毫米时,厚差可控制在  $\pm 7.5$  微米以内。当成品厚度为 0.5 毫米时,一般可控制在  $\pm 5$  微米以内。鉴定委员会测得的响应速度曲线和厚度控制精度曲线如图 2 和图 3 所示。经过较长时间工业运行应用,系统性能稳定,工作可靠,采用本系统后每年可增收 250 万元。

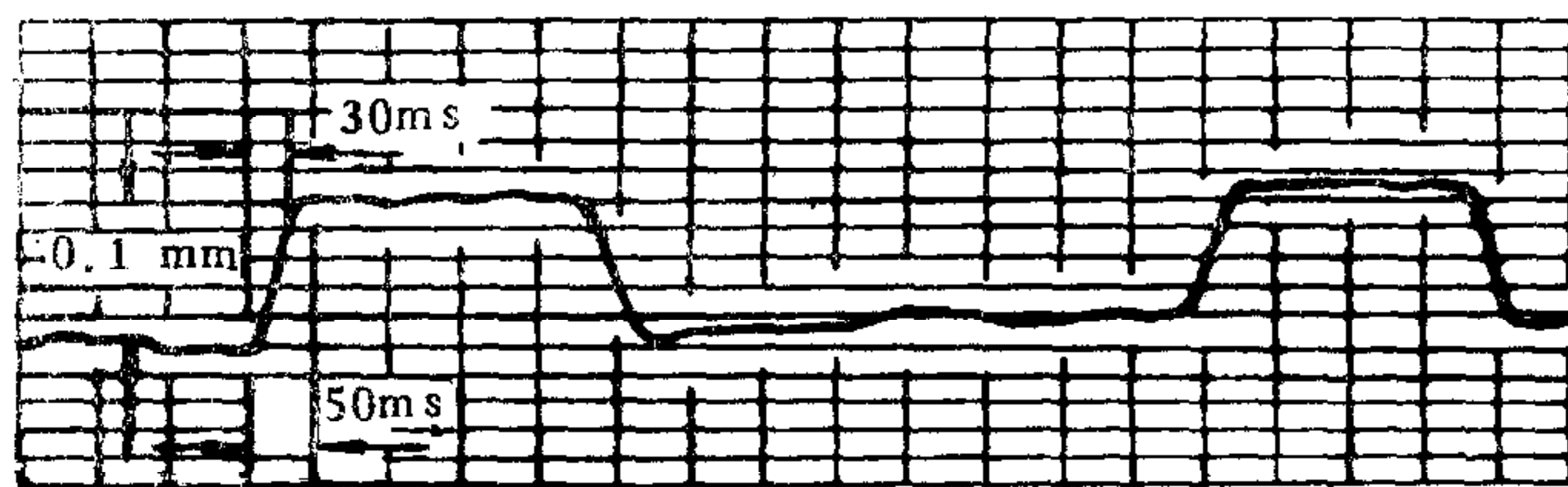


图 2 响应速度曲线

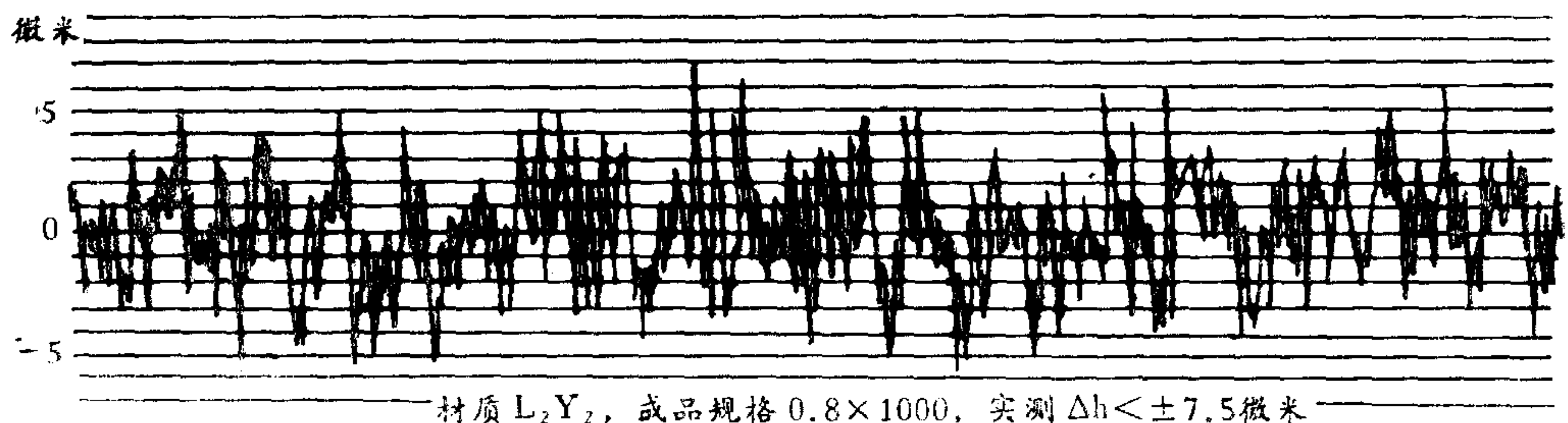


图 3 厚度控制精度曲线

## 五、结束语

本系统是我国自行设计的第一套液压厚调计算机控制系统,并首次在我国成功地应用在大型铝板冷轧机上。系统控制模型比较先进、简单、实用。APC 系统阶跃响应速度达到国际先进水平,三环综合厚度控制精度达到国外相应指标。系统抗干扰强,程序进行了固化,软硬件工作稳定可靠,可扩充,有通用性。提高了产品的产量和质量,经济效益显著。

参加本课题研究的还有东北重机学院邹沐昌、武金木、王新生和第一重机厂唐凤珠、张学增、张立达等同志。

## 参 考 文 献

- [1] 张进之, 压力 AGC 系统参数方程及变刚度轧机分析, 冶金自动化, 8(1984), 1, 24—30.

## THE COMPUTER CONTROL SYSTEM OF GAUGE REGULATION BASED ON LIQUID PRESS FOR HIGH SPEED ALUMINIUM PLATE ROLLS

SHI QINGZHOU    MENG QINGYOU  
(*North-East Heavy Machinery Institute*)

ZHAO HENGCHUAN    XING DECHEN  
(*1st Heavy Machinery Factory*)

### ABSTRACT

This paper introduces the computer control system of gauge regulation based on liquid press, which has been put successfully to practical use on a heavy aluminium plate cold-roll. It was designed and made in China. The principles and control models of the system are advanced. The response speed of APC system is fast. The control of gauge is of high precision. Applications show that both hardware and software of the system are stable and reliable, simple and convenient for operation. The economic benefit is remarkable and it is worth using in many other factories.

**Key words** —Computer control; roll control; control model; gauge control.