

· 轧钢自动化 ·

## 板带热连轧机液压 AGC 系统

张文雪<sup>1</sup>, 张殿华<sup>1</sup>, 闫 丹<sup>1</sup>, 李 旭<sup>1</sup>, 陈 丰<sup>2</sup>, 李光明<sup>2</sup>, 何景军<sup>2</sup>(1. 东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室, 辽宁 沈阳 110004;  
2. 天津荣程联合钢铁集团有限公司, 天津 300352)

**摘 要:**介绍了某热连轧厂精轧机组 AGC 控制系统硬件配置, 给出了 AGC 控制系统结构。针对现场的实际情况, 引入了硬度厚度双前馈 AGC、变塑性系数 GM-AGC、带 Smith 预估器的监控 AGC。为消除厚度控制对带钢张力造成的干扰, 提出了秒流量补偿。实际应用表明, AGC 效果明显, 带钢全长上厚度偏差均可控制在  $80\mu\text{m}$  之内。

**关键词:**AGC; 硬件配置; 前馈; 变塑性系数; Smith 预估器; 秒流量补偿

**中图分类号:**TG334.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-9996(2009)03-0042-04

## Hydraulic AGC System for Hot Strip Mill

ZHANG Wen-xue<sup>1</sup>, ZHANG Dian-hua<sup>1</sup>, YAN Dan<sup>1</sup>, LI Xu<sup>1</sup>,  
CHEN Feng<sup>2</sup>, LI Guang-ming<sup>2</sup>, HE Jing-jun<sup>2</sup>(1. The State Key Laboratory of Rolling and Automation, Northeastern University, Shenyang 110004, China;  
2. Tianjin Rockcheck Iron and Steel Co., Ltd., Tianjin 300352, China)

**Abstract:** In this paper the hardware configuration of the AGC control system of a hot strip mill is introduced, and the system structure of AGC is given. According to the practical situation of the mill, hardness and thickness feed-forward AGC, GM-AGC with variable ductility coefficient, and monitor AGC with Smith Predictor are introduced. Compensation for mass flow is applied to eliminate the interference of strip tension brought by AGC. Practical application shows that the effect of AGC is remarkable, and the range of gauge deviation along whole length of strips is lower than  $80\mu\text{m}$ .

**Key words:** AGC; hardware configuration; feed-forward; variable ductility coefficient; Smith Predictor; compensation for mass flow

## 1 引言

厚度精度是热轧板带材的主要性能指标之一。随着热轧板带材的广泛应用以及市场竞争的日益激烈, 生产企业和用户对其厚度精度的要求更加严格。为适应市场需要, 提高产品竞争力, 某热连轧厂精轧机组进行了升级改造, 在精轧区下游 6 机架增设了短行程液压缸, 同时对控制系统软硬件进行了升级, 实现了精轧机组液压 AGC 控制。

## 2 系统硬件和网络配置

液压 AGC 计算机控制系统按功能分为液压

站, 精轧主令、活套以及精轧机液压 APC、AGC 3 个控制部分, 分别由 3 套西门子 Simatic PLC 系统控制。

液压站控制任务由 1 块 CPU 315-2 系统完成, 精轧区主令和活套闭环控制任务由 1 块 CPU 416-2 系统实现, 液压 APC 和 AGC 等高速闭环运算由 TDC 系统完成, TDC 系统由 3 块 CPU 551, 3 块 SM500 和以太网 DP 网通讯模块组成, CPU551 具有极快的运算速度, 执行一条乘法指令仅需  $0.9\mu\text{s}$ , 最短控制周期可达  $0.1\text{ms}$ , TDC 的 CPU 之间通过 64 位背板总线进行高速数据交

收稿日期: 2008-09-26

作者简介: 张文雪(1980-), 男(汉族), 山东成武人, 博士研究生。

台州盛沪专业生产冶金卫装置  
Tel: 0576-87552101 Fax: 0576-87512616

换。

系统通讯主要采用工业以太网和现场总线

PROFIBUS-DP 两种方式,系统硬件和通讯配置

见图 1。

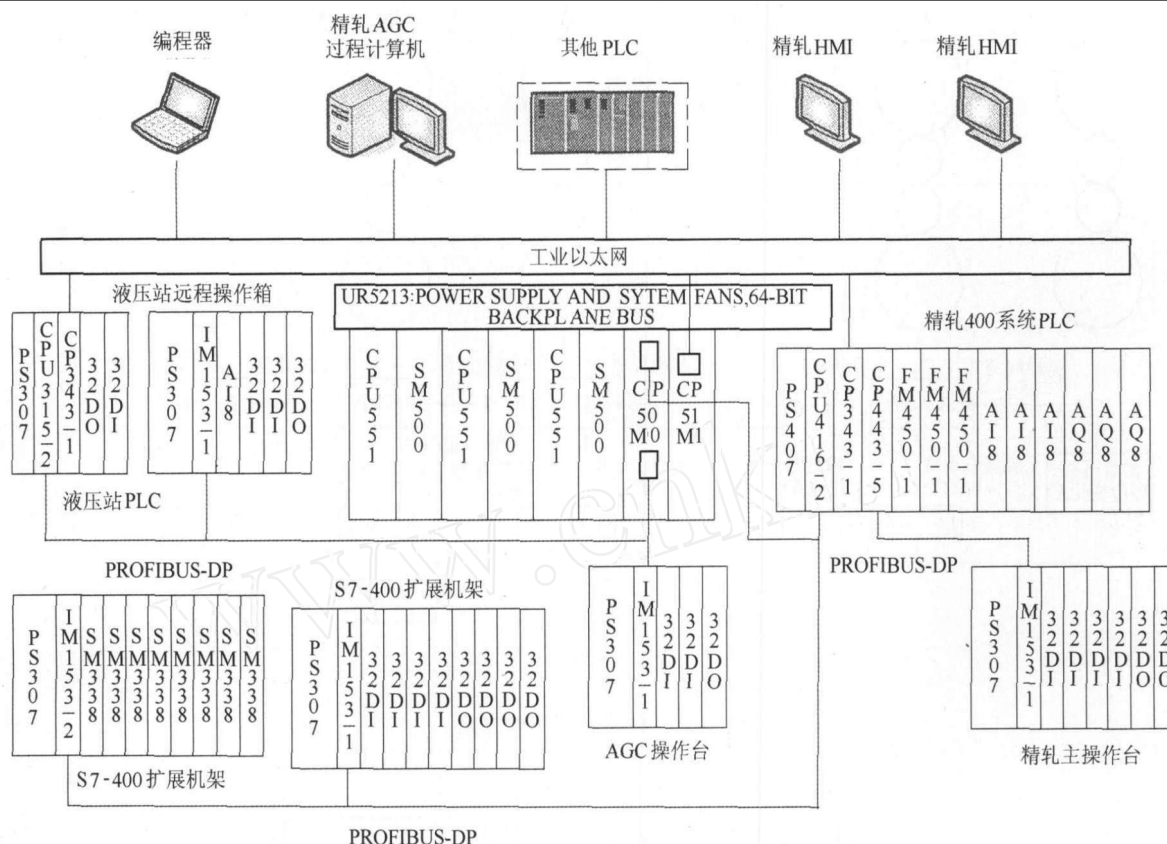


图 1 AGC 系统硬件和网络配置

### 3 系统功能

厚度控制系统采用前馈 AGC、GM-AGC 和监控 AGC 3 种控制算法,控制方案如图 2 所示。

#### 3.1 前馈 AGC

造成热轧带钢厚度偏差的主要原因是带钢全长温度不均匀而导致其“硬度”波动<sup>[2]</sup>,这种波动也可以看成轧件塑性系数的波动。因此传统前馈 AGC 仅以上机架出口厚度偏差作为前馈值来控制本机架厚度偏差,并不能很好地达到消除本机架厚差的作用。为了克服此缺点,本系统采用硬度和厚度综合前馈 AGC,即以上游机架为测量机架,通过对轧制力和辊缝的测量实时辨识带钢硬度的变化,并计算出轧件厚度的变化,前馈送往下游机架,用于控制下游机架的出口厚差。前馈 AGC 的辊缝修正量:

$$\Delta S = -\frac{1}{M} \left( \frac{\partial P}{\partial h_0} \Delta h_0 + \frac{\partial P}{\partial K} \Delta K \right) \quad (1)$$

式中,  $\Delta S$  为本机架辊缝调节量;  $M$  为轧机刚度;  $\frac{\partial P}{\partial h_0}$  为入口厚度偏差对轧制力影响系数;  $\Delta h_0$  为

入口厚度偏差;  $\frac{\partial P}{\partial K}$  为入口硬度偏差对轧制力影响系数;  $\Delta K$  为入口硬度偏差。

#### 3.2 变塑性系数 GM-AGC

GM-AGC 系统框图见图 3。

在轧制过程中,任意时刻的轧制力和空载辊缝都是可测的,再根据轧机刚度  $M$ ,由弹跳方程  $h = S_0 + P/M$  可以计算出带钢厚度偏差  $\Delta h$ ,从而由  $P-h$  图可计算出通过调节空载辊缝设定值来消除厚差的辊缝修正量:

$$\Delta S = -\frac{M+Q}{M} \quad (2)$$

由式(2)可看出,辊缝修正量不仅和带钢厚度偏差有关还与轧件塑性系数  $Q$  以及轧机刚度  $M$  有关,实际热连轧生产中带钢塑性系数是随时变化的,在恒速下轧制的带钢在全长上温度呈降低趋势,而塑性系数随温度的降低而升高。虽然文献[3,4]提出并用理论和仿真计算证明了  $Q$  值对 GM-AGC 系统出口厚度稳态误差没有影响,但文献[4]认为人为提高  $Q$  值可以减小 AGC 响应时

台州盛沪机械生产冶金卫装置  
Tel:0576-87552101 Fax:0576-87512616

间,但可能会引起超调。为了尽量提高 GM-AGC 的执行效率,提高产品精度,同时避免超调带来的

不利影响,有必要在轧制过程中对塑性系数进行修正处理。

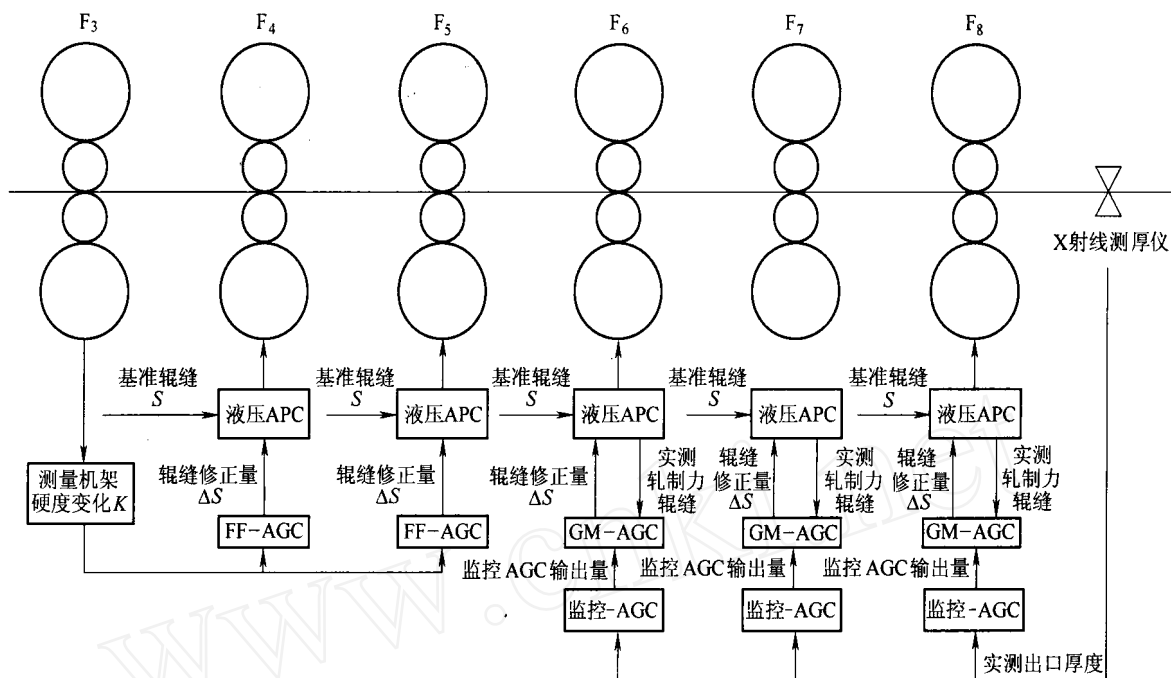


图 2 AGC 系统控制方案

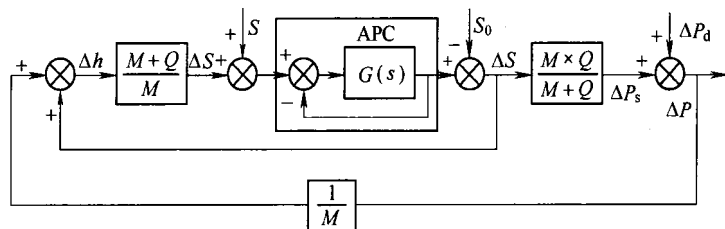


图 3 GM-AGC 系统框图

带钢的塑性系数  $Q$  可用式(3)表示:

$$Q = \frac{P}{H-h} \quad (3)$$

式中,  $P$  为轧制力;  $H$  为入口厚度;  $h$  为出口厚度。

式(3)的增量式全微分形式为:

$$\Delta Q = \frac{1}{H-h} \Delta P - \frac{P}{(H-h)^2} (\Delta H - \Delta h) \quad (4)$$

第  $i$  个采样周期的塑性系数值  $Q_i$  按式(5)计算:

$$Q_i = Q_{i-1} + \alpha \left[ \frac{P_i - P_{i-1}}{H_{i-1} - h_{i-1}} - \frac{P_{i-1}}{(H_{i-1} - h_{i-1})^2} (H_i - H_{i-1} - h_i + h_{i-1}) \right] \quad (5)$$

式中,  $\alpha$  为可调补偿系数

### 3.3 监控 AGC

受热连轧工作环境和轧机结构的限制,通常测厚仪安装在距离出口机架 3500mm 处,这就造

成末机架轧件厚度不能实时被检测,且有较大的时间滞后。监控 AGC 是一个滞后系统,为了弥补滞后环节对控制系统品质带来的不利影响,引入 Smith 预估器补偿算法,如图 4 所示,虚线框内为 Smith 预估器。

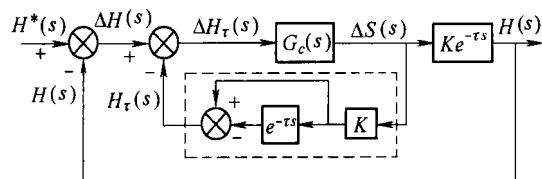


图 4 带 Smith 预估器监控 AGC 系统方框图

$H^*(s)$ —设定厚度;  $\Delta S(s)$ —辊缝调节量;  $H(s)$ —测厚仪测得的带钢实际厚度;  $H_r(s)$ —Smith 超前补偿;  $\Delta H(s)$ —厚度偏差;  $\Delta H_r(s)$ —控制器  $G_c(s)$  的输入值;  $K$ —轧机压下效率;  $\tau$ —系统滞后时间

控制器  $G_r(s)$  的输入为:

$$\Delta H_r(s) = \Delta H(s) - H_r(s) = \Delta H(s) -$$

$$K\Delta S(s) + (Ke^{-\tau s})\Delta S(s) \quad (6)$$

$G_r(s)$  采用积分控制器,对式(3)离散化得到控制器的输出即辊缝调节量:

$$\Delta S(i) = \frac{1}{1+PK}\Delta S(i-1) + \frac{PK}{1+PK}\Delta S(i-\tau) + \frac{P}{1+PK}\Delta h(i) \quad (7)$$

监控 AGC 采用样本跟踪方式,将末机架到测厚仪之间的带钢长度分为 5 段,  $\tau$  取 6,  $\Delta S(i)$  表示第  $i$  段辊缝控制量,  $\Delta S(i-1)$  表示第  $i-1$  段辊缝控制量,  $\Delta S(i-\tau)$  表示第  $i-\tau$  段辊缝控制量,  $\Delta h(i)$  表示第  $i$  段出口厚度偏差。

由于监控 AGC 响应较慢,头部厚差较大时,按常规控制方法处理会造成较长的梯形厚度区,为了尽可能地减小梯形厚度区,监控 AGC 设有快速头部响应功能,当测厚仪检测到带钢头部厚度偏差较大时,同时给上游 3 个机架一个较大的厚度调节量,各机架同时动作,尽快消除头部厚差。

### 3.4 张力补偿

带钢尾部离开上游机架后,失去了后张力作用会造成尾部厚度增加<sup>[5]</sup>,因此必须对尾部失张后的带钢进行厚度补偿,当带钢离开上游机架后减小本机架辊缝,尾部辊缝补偿量按式(5)计算。

和本机架入口厚度、张力设定值、上机架抛钢时本机架 AGC 辊缝调节量锁定值关系为:

$$\Delta S_c = G_T h_{i-1} T \Delta S_i \quad (8)$$

式中,  $\Delta S_c$  为第  $i$  机架尾部辊缝补偿值;  $G_T$  为可调增益系数;  $h_{i-1}$  为第  $i-1$  机架尾部厚度;  $T$  为第  $i-1$  与  $i$  机架间活套设定张力值;  $\Delta S_i$  为第  $i-1$  机架抛钢后第  $i$  机架 AGC 控制量锁定值。

### 3.5 秒流量补偿

AGC 的调节会引起带钢张力的变化,反之,带钢张力的变化也会导致其厚度的波动,尤其是在穿带过程中,张力的大幅度波动容易引起轧机系统的震荡,导致 AGC 无法正常投入使用。这种扰动仅依靠活套系统是无法完全消除的,因此采用秒流量补偿的方法。流量补偿量按式(9)计算:

$$\Delta u_i = \frac{h_{i+1}}{h_i} \Delta u_{i+1} + \frac{u_{i+1}}{h_i} \Delta h_{i+1} - \frac{h_{i+1} u_{i+1}}{h_i^2} \Delta H_{i+1} \quad (9)$$

式中,  $\Delta u_i$  为第  $i$  机架速度补偿量;  $h_i$  为第  $i$  机架出口带钢厚度;  $h_{i+1}$  为第  $i+1$  机架出口带钢厚度;  $\Delta u_{i+1}$  为第  $i+1$  机架速度变化量;  $\Delta h_{i+1}$  为第

$i+1$  机架出口带钢厚度变化量;  $\Delta H_{i+1}$  为第  $i+1$  机架入口厚度偏差;

## 4 实际应用效果

该系统于 2007 年 5 月初完成了安装调试开始投入使用。在精轧来料温度偏差较大的情况下(见图 5),轧出产品厚度偏差均在  $80\mu\text{m}$  之内,  $2\sigma$  值达到  $\pm 40\mu\text{m}$ ,图 6 为轧制  $5.24\text{mm} \times 570\text{mm}$  规格 Q235 带钢时,AGC 控制投入前后带钢实测出口厚度典型曲线。实际应用表明该系统控制效果良好。

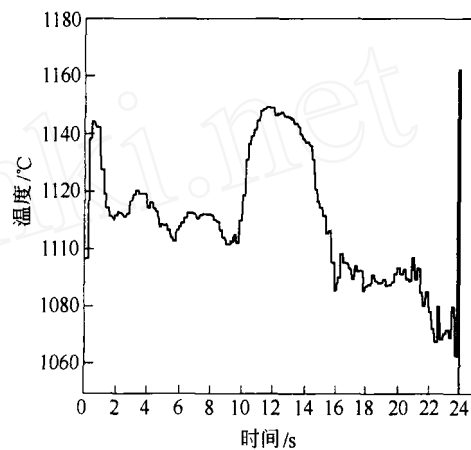


图 5 实际入口温度曲线

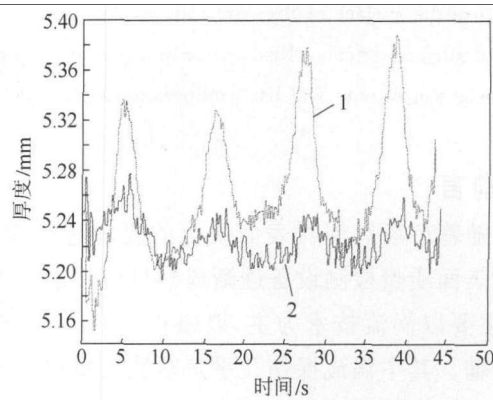


图 6 AGC 投入前后测厚仪实测厚度曲线

1—未投 AGC 实际出口厚度;2—AGC 实际出口厚度

### 参考文献:

- [1] 丁修堃. 轧制过程自动化[M]. 北京:冶金工业出版社,2005. 117.
- [2] 孙一康. 带钢热连轧模型与控制[M]. 北京:冶金工业出版社,2002. 157~180.
- [3] 王贞祥,刘建昌,王立平,等. AGC 模型的误差分析[J]. 控制与决策,1992, 7(3):211~216.
- [4] 刘兴华. 提高压力 AGC 响应速度的方法[J]. 钢铁研究, 2000, 133(2):41~44.
- [5] 汪祥能,丁修堃. 现代带钢连轧机控制[M]. 沈阳:东北大学出版社,1996. 80.

台州盛沪专业生产冶金卫装置  
Tel:0576-87552101 Fax:0576-87512616