

冷连轧机轧辊偏心自校正调节器

陈振宇 田卫国

(冶金工业部自动化所)

摘 要

本文利用自校正调节的方法,提出了以一架轧制力前馈和一架后测厚信号反馈组成的新型轧辊偏心自校正调节器。并且为了加速辨识速度,设置了初始值检测器。通过仿真研究表明,新系统比一般典型调节系统在克服支承辊偏心干扰不良影响和来料厚度偏差方面,有了很明显的改善。

一、前 言

随着用户对冷轧薄板质量要求不断提高,各国都在致力于减少钢板的厚度偏差。在装有典型 AGC 系统的现代冷连轧机中,经过对第一架和第五架出口测厚计测得的厚度偏差的记录曲线进行频谱分析后可以得出^{[1][2]},其中约有 40%~50% 的偏差成份是由于第一架支承辊的轧辊偏心影响所造成的。经过文献[1][2]作者们的努力,发展了专门轧辊偏心调节装置和系统,可以克服第一架支承辊偏心不良影响,并明显改进末架出口板厚的精度。在此以前文献[3]还介绍了作者们发展的另一种轧辊偏心调节装置。上述这些装置和系统有的需要增设附加装置,有的在使用上有一定限制,因此在各国冷连轧机中应用很少,尚不广泛。

目前较为广泛使用的对克服支承辊偏心有明显作用的系统见[4],在此系统中第一架设轧制力闭环调节回路作为内环,使液压压下能跟随轧辊偏心所造成的轧制力波动从而明显消除轧辊偏心的不良影响。在外环按照 Gage meter 原理组成第一架厚度闭环调节系统,这种系统对克服轧辊偏心不良影响效果较显著,但由于在外环中必须设置一个偏心轧制力波动的死区,从而大大降低了系统克服来料厚度偏差的响应速度。

本文按照近年来发展起来的自校正调节的原理和方法^[5],发展了新型轧辊偏心自校正调节器,为了加速辨识速度,设置了初始值检测器。仿真研究表明,此系统对克服支承辊偏心不良影响和来料厚差都具有明显效果。

二、轧辊偏心自校正调节器

现代冷连轧机第一架典型的厚度调节系统如图 1 所示。

图1中1、4为一架前后的 γ 射线测厚计,时间常数50ms.2为一架测厚厚度前馈补偿线路,基本算式为 $\Delta s = \Delta h \cdot Q/M$,式中 Q 为带钢的塑性系数,可以由数学模型计算出,但约有20%的误差, M 为轧机的弹性模量,可准确测得.3为液压压下伺服控制系统,其 ω_c 值约为10Hz.5为一架后测厚积分反馈调节系统.6为测压头,时间常数约3ms.滞回误差 $\pm 0.2\%$,一般不直接连接厚度调节系统.作为入口段的厚度调节系统,还有二架入口厚度预控和相应的张力调节系统,但此处对分析一架出口厚差无关,故未示出.这种典型厚度调节系统对于克服来料厚度偏差,一般具有较好的效果,但是由于反馈回路延迟较大,系统响应较慢,不能有效地克服轧辊偏心的不良影响.

笔者所建立的轧辊偏心自校正调节系统如图2所示.图中1、2、3、4、6与图1同.

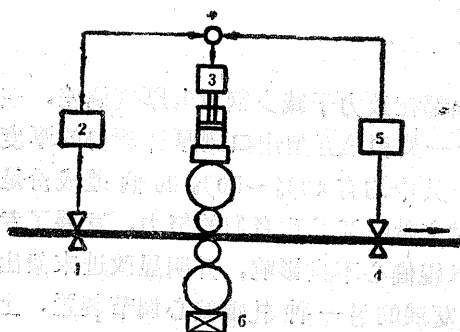


图1 第一架典型厚度调节系统图

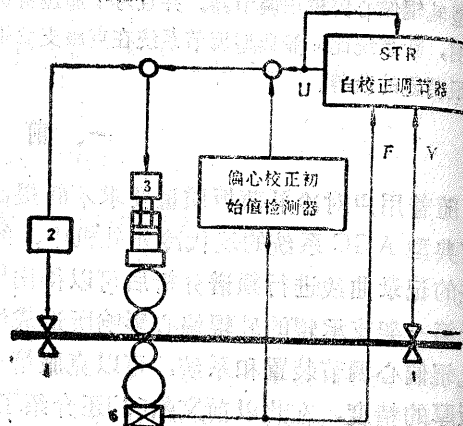


图2 轧辊偏心自校正调节系统

自校正调节预报模型为

$$Y(t) = b_0 U(t-l) + b_1 U(t-l-1) + b_2 U(t-l-2) + a_1 Y(t-l) + a_2 Y(t-l-1) + a_3 Y(t-l-2) - c_1 F(t-l) - c_2 F(t-l-1) + \varepsilon(t), \quad (1)$$

式中 Y 为一架后测厚仪测出的厚度偏差序列, F 为测压头测出的轧制力序列, U 为自校正调节器向过程输入的调节信号序列. l 为 Y 对 U 的时延. 此处 Y 为自校正调节器的反馈信号, 而 F 对于 U 因时间常数很小可以认为没有时延, 成为自校正调节器的前馈信号. 调节量计算式为

$$U(t) = \frac{1}{\hat{b}_0} \{ \hat{c}_1 F(t) + \hat{c}_2 F(t-1) - \hat{a}_1 Y(t) - \hat{a}_2 Y(t-1) - \hat{a}_3 Y(t-2) - \hat{b}_1 U(t-1) - \hat{b}_2 U(t-2) \}, \quad (2)$$

可改写为

$$U(t) = \frac{1}{\hat{b}_0} [-\theta^T(t)\phi(t)], \quad (3)$$

$$\theta^T(t) = [\hat{c}_1, \hat{c}_2, \hat{a}_1, \hat{a}_2, \hat{a}_3, \hat{b}_1, \hat{b}_2],$$

$$\phi^T(t) = [-F(t), -F(t-1), Y(t), Y(t-1), Y(t-2), U(t-1), U(t-2)],$$

式中 系数 $\hat{c}_1, \hat{c}_2, \hat{a}_1, \hat{a}_2, \hat{a}_3, \hat{b}_1, \hat{b}_2$ 为 $c_1, c_2, a_1, a_2, a_3, b_1, b_2$ 的估计值, \hat{b}_0 可事先指定. 参数估计采用下列带遗忘因子的递推最小二乘法计算:

$$\theta(t) = \theta(t-1) + K(t-1)[Y(t) - \hat{b}_0 U(t-1) - \theta^T(t-1)\phi(t-1)], \quad (4)$$

$$K(t-1) = P(t-1)\phi(t-1)[\phi^T(t-1)P(t-1)\phi(t-1) + \lambda]^{-1}, \quad (5)$$

$$P(t) = \frac{1}{\lambda} P(t-1) - \frac{1}{\lambda} P(t-1)\phi(t-1)[\phi^T(t-1)P(t-1)\phi(t-1) + \lambda]^{-1} \phi^T(t-1)P(t-1), \quad (6)$$

式中 λ 为遗忘因子.

为了加快自校正调节器开始投入的辨识速度, 另外利用轧制力信号建立偏心校正初始值检测器, 一般轧制时轧制力在支承辊转一周时的曲线如图 3 所示.

图中虚线直线表示支承辊由 a 转一周至 b 点时, 由于来料板厚偏差增加使轧制力增加, 一周内轧制力的波动主要是由于支承辊偏心所造成. 这样可以按照支承辊转一周的时间采样并记录下曲线值, 就可以计算出支承辊转一周的反映偏心轧制力基本特性的曲线值. 这一曲线值序列就可以作为自校正调节器的初始调节值, 与 U 序列并联输入过程. 这一措施明显加快了自校正调节器的收敛过程. 当自校正调节器投入后对上述建立初始值的采样计算就可以切断, 由自校正调节器来跟随过程参数, 实现输出调节.

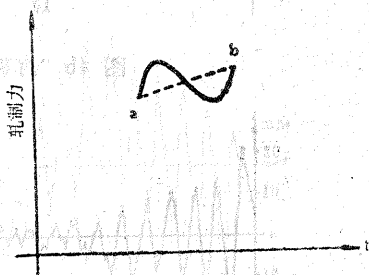


图 3 支承辊轧制力曲线

由于系统要求达到周期补偿偏心干扰的目的, 而轧机的轧速又随时可变, 因此采样控制周期不是按照固定的时间间隔, 而是按照支承辊转一周的距离间隔来采样控制. 计算表明支承辊每转一周采样控制 10 次已可满足要求, 相应时延 l 为 4.

三、仿真研究

为了检验上述自校正调节系统, 进行了仿真计算. 计算时加入的偏心干扰为

$$\Delta s = 0.04(\sin \omega T + \sin 0.97\omega T) + W, \quad (7)$$

式中 偏心值为 40 微米, 同时考虑了上、下支承辊有 3% 的辊径差. W 为高斯分布随机干扰, 均值为 0, 方差为 5 微米. 为了分析比较方便, 各种计算都在一架轧速为

4米/秒进行, 轧制过程都取37秒。先对只有偏心情况下原经典调节系统与本文系统进行计算, 结果见图4。

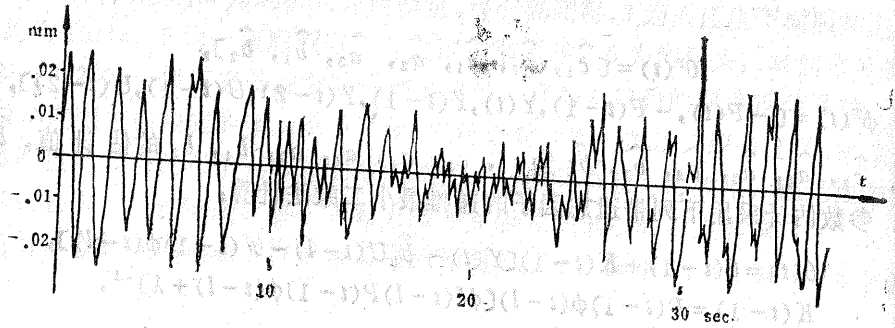


图 4a 轧辊偏心干扰

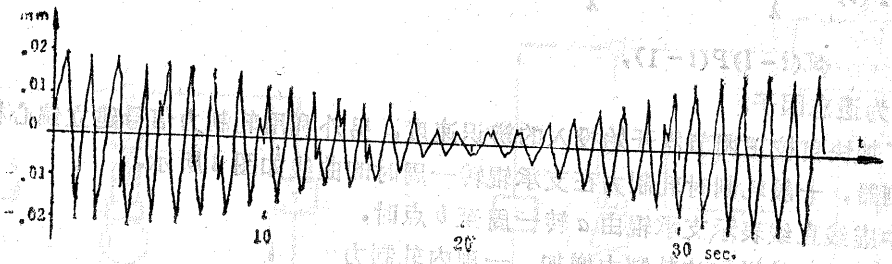


图 4b 有积分调节器系统时第一架轧出板厚偏差

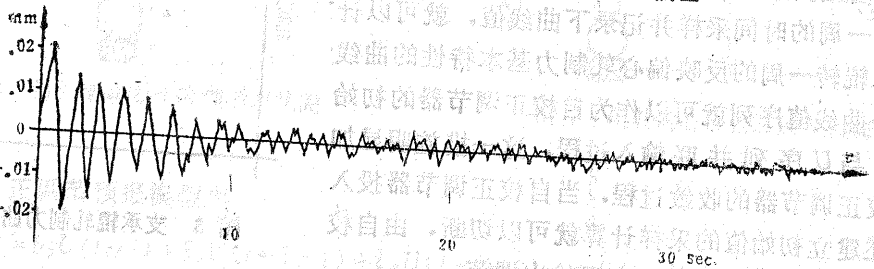


图 4c 有自校正调节器系统时第一架轧出板厚偏差

图 4 只有偏心干扰时两种系统计算结果的比较

从图4计算结果可以得出, 一般典型积分调节系统的37秒累计厚度偏差绝对值平方和为 0.0355mm^2 , 而本文系统的累计方差为 0.00639mm^2 , 降低了82%, 效果十分明显。然后再叠加上热轧来料板厚偏差为

$$\Delta H = .05 \sin(.0857\omega t) + .007 \sin(\omega T), \quad (8)$$

式中来料厚差峰值为 ± 50 微米, $0.0857\omega t$ 相当于热轧钢板水印的周期。 ± 7 微米为热轧支承辊偏心对板厚差的影响, 其周期与冷轧相同。两种系统计算结果见图5。

从图5计算可以得出, 一般典型积分调节系统的累计方差为 0.0727mm^2 , 而本文系统图5(c)开始轧第一块钢的累计方差为 0.0283mm^2 , 降低了61%。如接着再轧相同规格

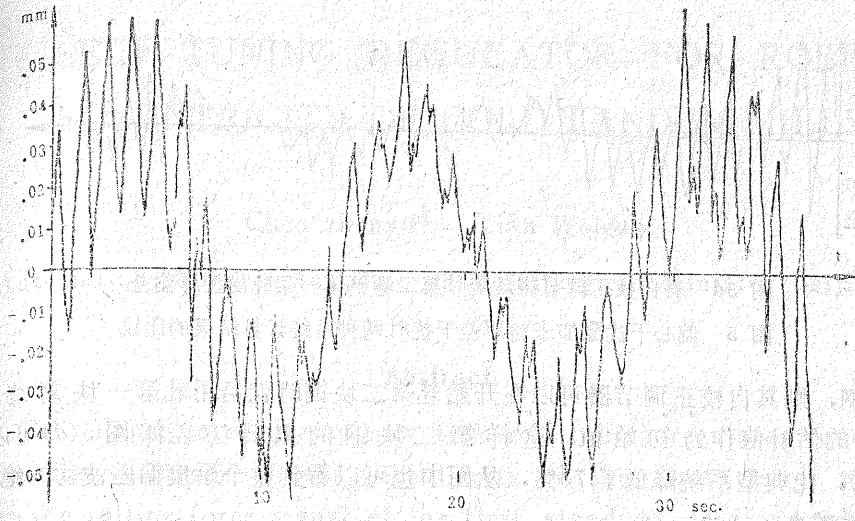


图 5a 轧辊偏心干扰叠加来材厚差干扰

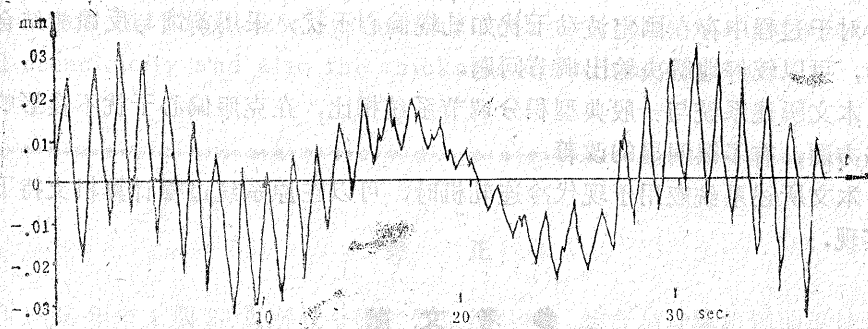


图 5b 有积分调节器系统时第一架轧出板厚偏差

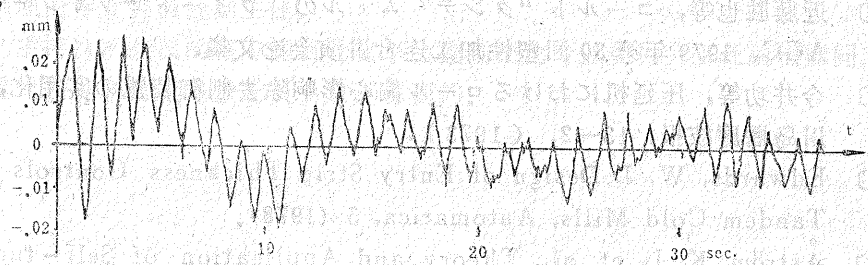


图 5c 自校正调节器系统时第一卷钢第一架轧出板厚偏差

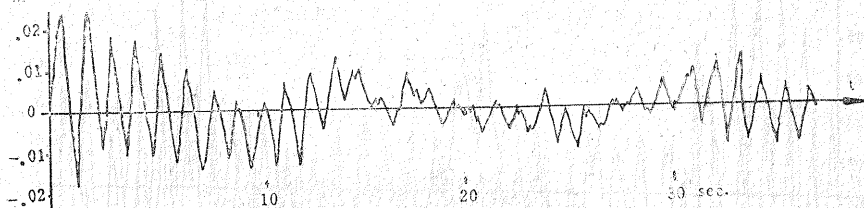


图 5d 有自校正调节器系统时第二卷钢第一架轧出板厚偏差

图 5 偏心干扰叠加来料厚差干扰时两种系统计算结果的比较

的第二块钢, 则其自校正调节器可以在开始轧第二块钢时就沿用轧第一块钢终了时的 $\hat{t}(t)$ 和 $\hat{P}(t)$ 的估计值作为初始值。这样第二块钢的累计方差如图 5(d) 可以降低为 0.165mm^2 , 比典型系统降低了 73%。从图中也可以看到整个厚度偏差波动的绝对幅度也很明显地减小。

四、结 语

1. 对于过程中存在固定波动干扰如轧辊偏心干扰, 采用前馈与反馈相结合的自校正调节器, 可以较好地解决输出调节问题。

2. 本文所述系统与一般典型积分调节系统相比, 在克服偏心干扰不良影响和来料厚度偏差方面, 有了很明显的改善。

3. 本文所述系统应用于现代冷连轧机时, 可以在原系统过程计算机支持下用微型计算机实现。

参 考 文 献

- [1] 桥本一义等, 压延机ロール偏心制御装置の開発, 1979年第30回塑性加工连合讲演会论文集。
- [2] 近藤胜也等, コールト“タンテ”ムミルのフィート“フォート” AGC, 1979年第30回塑性加工连合讲演会论文集。
- [3] 今井功等, 压延机におけるロール偏心影响除去制御装置の实用化, 石川岛播磨技报, 13—2, (1973)。
- [4] Edwards, W. J. Design of Entry Strip Thickness Controls for Tandem Cold Mills, Automatica, 5 (1978)。
- [5] Åström, K. J., et al., Theory and Application of Self-tuning Regulators, Automatica, 5 (1977)。

SELF-TUNING REGULATOR FOR ROLL ECCENTRICITY OF COLD TANDEM MILLS

Chen zhenyu Tian Weiguo

(Automation Research Institute of Metallurgical Ministry Beijing)

Abstract

This Paper introduces a new type self-tuning regulator to overcome the influence of roll eccentricity of the first stand, which uses the rolling force signal of the first stand as feedforward and the gage measuring signal behind the first stand as feedback. An initial value detector of eccentricity has been built to accelerate the identification speed of self-tuning. It has been illustrated by simulative calculation that this new system can both overcome the influence of roll eccentricity and also the thickness disturbance distinctly.

更 正

本刊1985年第1期20页所登全国控制系统分析、综合与计算机辅助设计学术会议报道,有几处失误,特作如下更正:

1. “全国自动化学会”应为“中国自动化学会”。
2. 中国自动化学会秘书长是陈汉明同志。秦化淑同志是中国自动化学会常务理事、控制理论专业委员会副主任。
3. 主持这次会议的是中国自动化学会控制理论专业委员会主任疏松桂同志。疏松桂同志是代表控制理论专业委员会致开幕词的。