

数字信号处理在偏心控制中的应用

刘淑贞· 王为人· 李元· 孙一康*

摘要: 针对轧辊偏心问题, 提出了一套对轧辊偏心信号进行提取和检测的数字信号处理方法; 讨论了该方法在偏心控制中应用的有关问题。现场实验结果证实, 该方法应用方便, 处理正确, 控制有效。

关键词: 信号处理, 偏心控制, 轧辊

Application of Digital Signal Processing in Roll Eccentricity Control

Liu Shuzhen Wang Weiren* Li Yuan* Sun Yikang**

ABSTRACT: A kind of digital signal processing method for detecting the roll eccentricity signal is presented in light of the characteristics of roll eccentricity, and the application of this method in roll eccentricity control is discussed. The spot experimental result shows that this method is convenient in realization, accurate in processing and effective in control.

KEYWORDS: signal processing, eccentricity control, mill

轧辊(主要是支持辊)的偏心是造成带钢厚度波动的重要因素之一。轧辊偏心导致辊缝的周期性变化致使带钢厚度波动。例如,对于一台四辊冷轧机,假如上下支持辊总的偏心量为 $25\mu\text{m}$,机架刚度系数为 120t/mm ,材料的塑性刚度为 480t/mm ,那么此偏心将在带钢上产生 $\pm 5\mu\text{m}$ 的厚度偏差。在高精度要求的场合(例如,上海三冷厂的高精度四辊可逆冷轧机要求厚度公差为 $\pm 4\mu\text{m}$),这种偏差是无法满足厚差要求的。不仅如此,轧辊偏心的存在还会导致传统AGC系统误动作,使传统AGC系统的调节质量恶化⁽¹⁾。因此,轧辊偏心补偿

1990-12-13收稿

*自动化系(Department of Automation and Control Engineering)

方法与装置的开发与应用引起了人们极大的关注，许多国家都在致力于这一问题的研究。目前已经提出了多种补偿轧辊偏心的方法与措施，而且将数字信号处理的理论与技术逐渐引入检测与控制系统。但是，以往的方法中，或者使用单一的信号处理策略，精度不够；或者要求增设过多的附加装置，结构复杂，不易实现；或者算法繁琐，无法满足速度要求。本文所述方法将信号预处理、滤波器和频谱分析结合起来，将信号进行综合加工与处理，以满足简便性、快速性与准确性的要求。

1 信号处理方法

1.1 偏心信号的形式

一般说来，轧辊的偏心可以归纳为两种基本的类型：(1) 由辊身和辊径的不同轴度误差产生的偏心；(2) 由辊身的椭圆度造成的偏心。实际情况可能是两者综合影响的结果。理论分析和实验研究均表明，轧辊偏心反映在轧制压力和辊缝上是一复杂的高频周期波，该周期信号的频率与主机速度成正比。理想情况下的波形如图 1 (a) 所示。在现场情况下，由于直流量、缓慢变化量、随机扰动等各类噪声的存在，采集到的信号会出现跳变、漂移等无规律变化趋势，即出现如图 1 (b) 所示的变化波形。另外，通过 A/D 变换后的离散时间信号，除了含有原来的噪声外，还增添了 A/D 转换器的量化噪声。

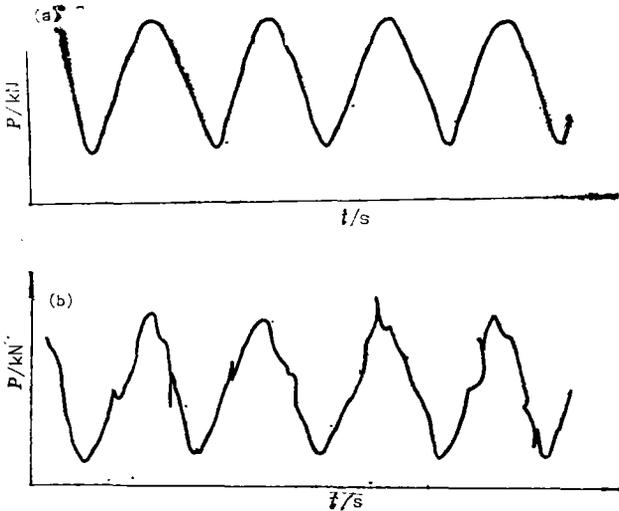


图 1 轧辊偏心反映在轧制压力上的波形

Fig. 1 Waveform of roll eccentricity on rolling pressure

1.2 信号的预处理

针对偏心信号的特点，采用相干时间平均的方法来进行信号预处理，以减少或消除随机噪声，提高信噪比，为信号的进一步处理奠定基础。通常无论干扰情况如何，相对支持辊的每一周期而言，偏心信号是确定而重复出现的，而且与随机干扰不相关。所以，对于轧辊上的某一点 n ，取 M 个周期样本 $S_i(n) (i = 1, 2, \dots, M)$ 对应相加，然后取平均，即：

$$\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M S_i(n) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M e(n) + \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \eta_i(n) = e(n) + \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \eta_i(n)$$

其中, $e(n)$ 是样本 $S_i(n)$ 中包含的偏心信号; $\eta_i(n)$ 是 $S_i(n)$ 中包含的干扰分量。由上式可见, 经处理后, 信号功率不变, 而噪声方差却成为原来的 $1/M$ 倍, 使信噪比得以提高。当然, 与相干时间平均处理同时, 还应有滤波手段以消除均值和缓慢变化量。图2为对图1(b)信号进行处理后的波形。从图可以看出, 经滤波和相干时间平均处理后, 噪声干扰大为减弱, 信号波形的周期性明显突出出来。

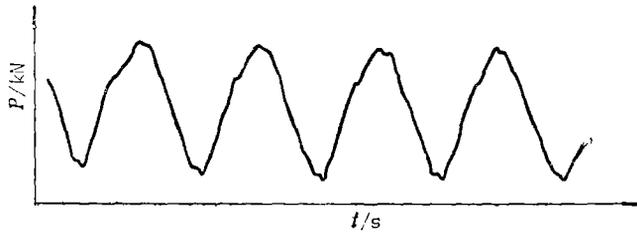


图2 相干时间平均处理后的波形
Fig. 2 Processed waveform through CTA

1.3 快速付立叶变换处理

将采样信号预处理后, 为了进一步准确定量地将偏心信号提取出来, 采用快速付立叶变换方法, 对其进行进一步分析处理, 得出偏心信号中所含各次正弦波的幅值、频率和相角, 从而确定轧辊偏心信号参数模型:

$$e(t) = \sum_{i=1}^P A_i \sin(\omega_i t + \theta_i)$$

这里 P 是所选取的谐波次数, 可由产品精度要求来适当选取。 P 越大, 模型精度越高。一般说来, 起主导作用的是基波分量或基波加二次谐波分量。为了减弱离散付立叶变换所固有的泄漏效应, 同时又使采样持续时间选择灵活方便, 可运用改进的基2快速付立叶变换(即MFFT^[3])进行计算和处理, 以提高信号处理的精确度。图3为对图2波形施行MFFT处理后的结果。

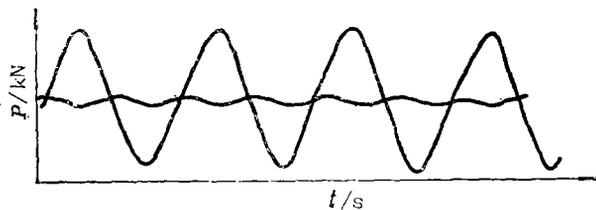


图3 FFT处理结果
Fig. 3 FFT processing result

2 在偏心控制中的应用

借助以上信号处理方法, 以高精度四辊可逆冷轧机为控制对象, 构成如图4所示的轧辊偏心控制系统。图中, 轧机具有一对直径110mm的工作辊, 一对直径420mm的支持辊, 支

持辊总的偏心量为 $30\mu\text{m}$ 。滤波器、相干时间平均和MFFT处理由工业控制计算机来完成。光电脉冲发生器在做相干时间平均时起定点作用，即沿支持辊圆周逐点发出中断信号，以达到逐点相干时间平均的目的。在MFFT处理和实时控制时，它起定位作用，即用来确定信号检测和控制的起始点，以保证控制信号的准确定位。在轧制开始后的最初几转，CTA和MFFT环节完成原始偏心信号的检测与模型识别。此后每隔一定时间完成一次剩余偏心信息的检测与模型参数的修正。偏心控制器将处理后的偏心信息转换为控制液压推上机构的电压信号。

3 结 论

以上所述信号处理和控制方案，已在上海第三冷轧带钢厂的高精度四辊可逆冷轧机上进

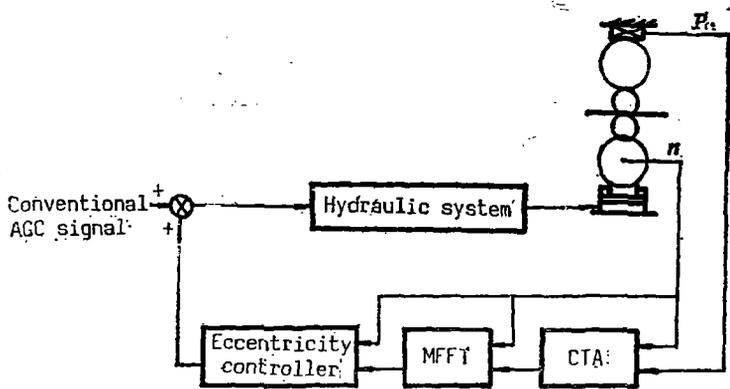
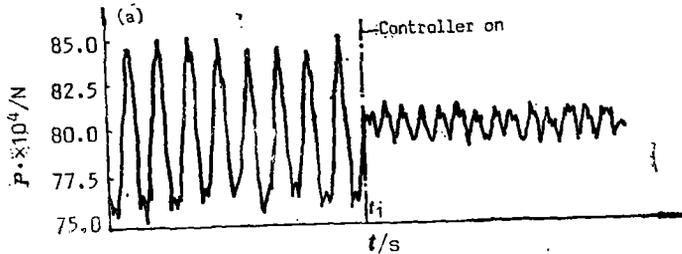
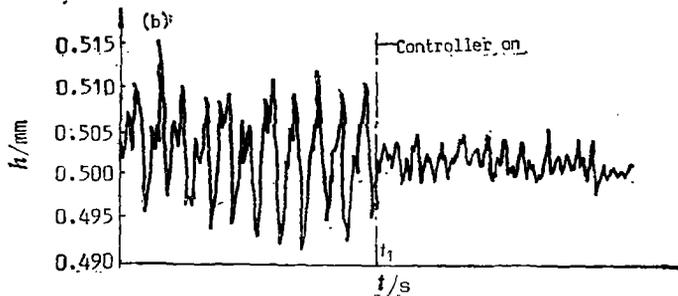


图4 控制系统框图

Fig. 4 Block schematic of control system



(a) 轧制压力变化情况



(b) 出口带钢厚度变化情况

Fig. 5 Spot experimental results

行了现场实验。实验结果与理论分析完全相符，效果良好。图5为现场实验结果。其中，曲线(a)为检测和控制系统的投入前后轧制压力的变化情况。曲线(b)为检测和控制系统的投入前后带钢出口厚度的变化情况。实验结果表明，偏心检测和控制系统的投入使偏心影响降低了80%以上，使产品精度得以大幅度提高。

参 考 文 献

- 1 Waltz M D, Reed K E. Eccentricity Filter for Rolling Mills, Instrumentation Metals Industry, USA, 1974, 21, 1-9
- 2 Davy-Loewy. German Patent, 2416867, 1974
- 3 李育苗. 自动化学报, 1990: 16(2):151

通用沥青碳纤维/聚氯乙烯抗静电塑料地板

通用型沥青碳纤维比重小、耐腐蚀、耐高温，有较好的力学性能及导电性能。抗拉强度为 ~ 1000 MPa，模量 ~ 40 GPa，断裂伸长 $\sim 18\%$ ，电阻率 $\sim 10^{-1}\Omega\cdot\text{cm}$ 。北京科技大学碳纤维及复合材料研究室与上海汇丽化学建材总厂合作，将通用沥青碳纤维作为导电物质加入到聚氯乙烯中去，通过混炼、压制，试制抗静电塑料地板。经各种配方及工艺电位，于1988年彩色永久性抗静电塑料地板研制成功。该地板经研制单位及北京工业大学等实际测试，性能达到并超过国家标准。经使用单位铺装地板使用实验，抗静电效果良好、稳定。

通用型沥青碳纤维/聚氯乙烯抗静电地板的特点是：

1. 制造工艺比较简单，混炼容易进行。
2. 地板抗静电效果好，电阻值 $\sim 10^8\Omega$ （一般塑料地板 $10^{13}\sim 10^{14}\Omega$ ）。
3. 地板耐磨性好，磨耗仅为 $4.4\times 10^{-6}\text{g}/\text{cm}\cdot\text{周}$ ，远优于一般塑料地板（国家标准 $\leq 2.0\times 10^{-4}\text{g}/\text{cm}\cdot\text{周}$ ）。
4. 抗静电作用是永久性的，不随时间降低，地板色彩鲜艳、美观。