

文章编号: 1001-0920(2002)01-0069-04

# 小波分析在板形缺陷识别中的应用

宋君烈<sup>1</sup>, 邵克勇<sup>1</sup>, 迟德选<sup>1</sup>, 华建新<sup>2</sup>, 张 潜<sup>1</sup>

(1. 东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110004; 2. 宝山钢铁公司, 上海 201203)

**摘要:** 介绍了小波分析方法在冷轧板形缺陷识别中的应用。识别中首先利用小波变换、分解、重构达到消噪目的, 然后利用 3 类模型进行缺陷辨识。该方法解决了缺陷中的 1/4 浪和边中复合浪无法辨识的问题。

**关键词:** 小波分析; 信号消噪; 板形缺陷识别

**中图分类号:** TN 911 **文献标识码:** A

## Application of wavelet analysis in recognizing the defects of plate Form in rolling process

SONG Jun-lie<sup>1</sup>, SHAO Ke-yong<sup>1</sup>, CHI De-xuan<sup>1</sup>, HUA Jian-xin<sup>2</sup>, ZHANG Qian<sup>1</sup>

(1. School of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China; 2. Baoshan Iron and Steel Group Corporation, Shanghai 201203, China)

**Abstract:** It is introduced that the method of wavelet analysis is applied to recognizing the defects of plate form in rolling process. In the method, to filter the noise of the measure dates the decomposed and reform of wavelet are used. Then the filtered dates are applied to approach three defect models: straight, parabola and sine cover. Finally, a suitable is found. The application of sine cover model can solve the problem that the quarter wave and compound wave are recognized in usual methods.

**Key words:** wavelet analysis; date filtering; recognizing the defects of plate form

## 1 引 言

在轧制过程中, 为减少或消除板形缺陷, 近年来相继开发出各种板形控制装置和控制系统。某冷轧厂从德国引进了全部板形控制装置和控制系统, 其板形控制主要集中在第 5 机架并采用了 CVC 板形控制新技术。该技术在板形缺陷识别方面所采用的方法是: 根据装置在第 5 机架后的板形测量仪实际输出的应力分布值, 对其进行多项式分解。分解所得到的二次项表示压下偏差, 二次项表示简单的边浪

和中浪, 三、四次项则表示复杂的板形缺陷, 即 1/4 浪和边中复合浪。在相应的控制策略中, 通过调整压下偏斜消除一次项, 调节 CVC 工作辊轴向移动及弯轴力消除二次项缺陷, 对于三、四次项则舍弃。这种“四次多项式分解法”作为板形缺陷识别的方法, 存在的问题有:

1) 对于板形测量仪出现错误信号时, 板形缺陷识别模型无法进行有效识别, 此时系统不得不放弃对板形的控制;

2) 板形测量仪上采集到的信号包含一定程度

收稿日期: 2000-04-02; 修回日期: 2001-09-18

作者简介: 宋君烈(1946—), 男, 辽宁大连人, 副教授, 从事智能控制与微机应用的研究; 邵克勇(1970—), 男, 河南淮阳人, 博士生, 从事复杂系统建模与控制的研究。

的噪声干扰成分, 干扰噪声并非白噪声, 它将直接影响板形识别的有效性和精度;

3) 实际轧制过程中, 影响板形的因素有多种, 采用四次多项式分解法分析复杂的板形缺陷, 由于其自身模型所限而导致有时精度不高。

因此有必要采用更先进的方法, 对板形缺陷进行有效的识别。尤其在信号不完整或信号中存在噪声时, 仍能正确有效地识别缺陷的模式, 并在准确识别板形缺陷的基础上对现有的控制策略进行修正, 以达到改善板形的目的。为此我们以该厂冷轧系统为对象, 提出用小波分析应力分布曲线来识别冷轧板形缺陷。

## 2 小波理论在板形缺陷分析中的应用

### 2.1 小波理论简介

小波分析方法<sup>[1]</sup>是一种窗口大小(即窗口面积)固定但其形状可改变, 时间窗和频率窗都可改变的时频局部化分析方法。即在低频部分具有较高的频率分辨率和较低的时间分辨率, 在高频部分具有较高的时间分辨率和较低的频率分辨率。正是由于具备这种特性, 才使小波变换具有对信号的自适应性。小波分析与傅里叶变换相比, 优点是在时域和频域同时具有良好的局部化性质。

设  $\Psi(t) \in L^2(R)L^2(R)$  表示平方可积的实数空间, 即能量有限的信号空间, 其傅里叶变换为  $\hat{\Psi}(\omega)$ 。当  $\hat{\Psi}(\omega)$  满足允许条件

$$C_{\Psi} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\hat{\Psi}(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty \quad (1)$$

时, 称  $\Psi(t)$  为一个基本小波或母小波。其函数  $\Psi(t)$  经伸缩和平移后, 便可得到一个小波序列。

对于连续情况, 小波序列为

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad a, b \in R, a \neq 0 \quad (2)$$

其中,  $a$  为伸缩因子,  $b$  为平移因子。

对于离散情况, 小波序列为

$$\Psi_{j,k}(t) = 2^{-j/2} \Psi(2^{-j}t - k), \quad j, k \in Z \quad (3)$$

对于任意函数  $f(t) \in L^2(R)$ , 连续小波变换为

$$W_f(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (4)$$

其逆变换为

$$f(t) = \frac{1}{C_{\Psi}} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} W_f(a, b) \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) da db \quad (5)$$

小波变换的时频窗口与短时傅里叶的时频窗口不同, 其窗口形状为两个矩形  $[b - a\Delta\Psi, b + a\Delta\Psi] \times [(\pm\omega - \Delta\Psi)/a, (\pm\omega + \Delta\Psi)/a]$ , 窗口中心为  $(b, \pm\omega/a)$ , 时窗和频窗宽度分别为  $a\Delta\Psi$  和  $\Delta\Psi/a$ 。其中  $b$  仅影响窗口在相平面时间轴上的位置, 而  $a$  既影响窗口在频率轴上的位置, 又影响窗口的形状。因此, 小波变换对不同的频率在时域上的采样步长是调节性的, 即在低频时小波变换的时间分辨率较低, 而频率分辨率较高; 在高频时小波变换的时间分辨率较高, 而频率分辨率较低。这正符合低频信号变化缓慢而高频信号变化迅速的特点, 也是它优于经典的傅里叶变换和短时傅里叶变换之处, 从总体上说, 小波变换比短时傅里叶变换具有更好的时频窗口特性。

### 2.2 小波分析用于信号消噪处理

运用小波分析进行一维信号消噪处理是小波分析的重要应用之一。含有噪声的一维信号模型可表示为

$$s(i) = f(i) + \sigma e(i) \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (6)$$

其中,  $s(i)$  为含有噪声的信号,  $f(i)$  为真实信号,  $e(i)$  为噪声。在实际工程中, 有用信号通常表现为低频信号或是一些较平稳的信号, 而噪声信号则通常表现为高频信号。

在板形缺陷识别系统中, 需要消噪处理的信号可分为应力信号和应力分布曲线, 二者的处理方法有所不同。板形测量仪输出为多点的应力分布值, 对每个应力信号的测量是沿钢板轧制方法进行的, 该信号将直接影响板形缺陷识别系统的精度, 所以应力信号的消噪处理十分重要。由于测量点较多, 为减少计算量, 满足在线实时监控的要求, 对每个应力信号选用常规滑动窗口采样, 并采用排序筛选、均值滤波的方法进行信号处理。再由这些应力信号组成钢板横切面的应力分布曲线, 供板形缺陷识别使用。

小波分析是针对应力分布曲线的消噪过程, 按如下方法处理: 首先对信号进行小波分解, 如进行 3 层分解, 其分解过程如图 1 所示。噪声部分通常包含在  $CD_1, CD_2, CD_3$  中, 可以门限阈值等形式对小波系数进行处理, 然后对信号进行重构, 即可达到消噪的目的。对信号  $s(i)$  消噪就是要抑制信号中的噪声部分, 从而在  $s(i)$  中恢复出真实信号  $f(i)$ 。

一般说, 一维信号的消噪过程可分为以下 3 步进行:

1) 一维信号的小波分解: 选择一个小波并确定

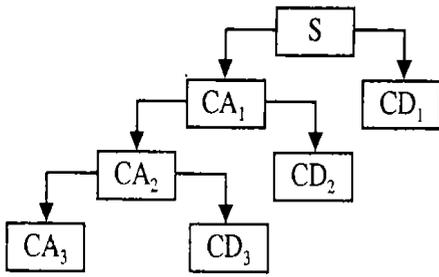


图 1 小波 3 层分解

小波分解的层次  $N$ ，然后对信号  $S$  进行  $N$  层小波分解：

2) 小波分解高频系数的阈值量化：对第 1 ~  $N$  层的每层高频系数，选择一个阈值进行阈值量化处理；

3) 一维小波的重构：根据小波分解的第  $N$  层低频系数和经过量化处理后的第 1 ~  $N$  层高频系数，进行一维信号的小波重构。

### 2.3 板形缺陷的识别

在各类冷轧板形缺陷中，最常见的是边浪、中浪、1/4 浪、边中联合浪和复合浪，如图 2 所示。

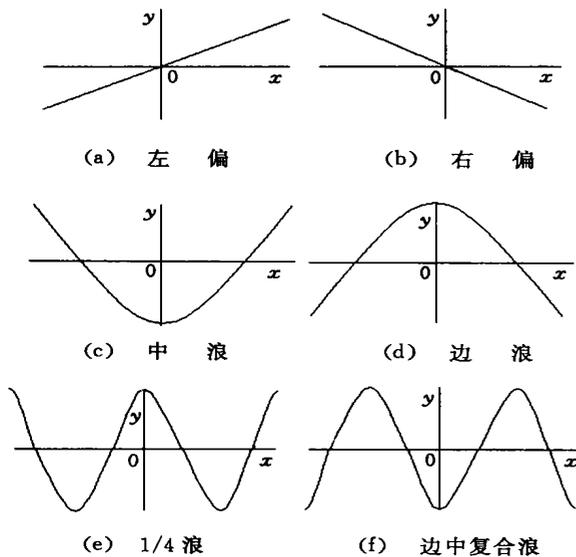


图 2 6 种主要板形缺陷

为消除噪声对板形测量仪测量结果的影响，首先对观测数据进行小波消噪（测量仪测量的是张力值，其单位为 0.1g）。由于第 1 测量点和最末测量点位于板材的边缘，测量精度较差，因此将板材同一横截线上的 21 个测量数据均舍弃第 1 个和最末一个数据后用于缺陷识别。在小波分析中，选取不同的小波和不同的分解层次，对识别结果会有较大的影响，分解的层次越多，其高频信号滤掉的也越多，滤波后数据曲线越加平坦光滑。但目前仍没有任何理论指

明在实际问题中小波及分解层次的具体选法，只能通过实验完成。利用 Matlab 程序包<sup>[2]</sup>进行大量仿真实验，通过对不同小波、不同分解层次的比较，发现对于该思机数据利用 symN 小波变换和 3 层分解重构消噪的效果比较好。由图 3 可见，消噪后的数据曲线比原始测量数据曲线光滑得多。将消噪后数据依次按下面 3 类模型利用最小二乘方法进行辨识。

1) 直线形模型  $M_1: y = ax + b$ ，此模型对应板形缺陷中的左偏斜和右偏斜；

2) 二次多项式模型  $M_2: y = ax^2 + bx + c$ ，此模型对应板形缺陷中的中浪、边浪及其倾斜和偏移；

3) 三角正弦模型  $M_3: y = a \sin(\pi x/6 + d) + b$ ，此模型对应板形缺陷中的 1/4 浪和边中复合浪。式中  $d$  可由应力分布曲线中的正弦波正负峰值的位置计算确定，当  $d = \pi/2$  时，对应板形的中间位置。

运行时将 3 种模型依次从模型库取出进行辨识<sup>[3]</sup>，并对辨识后所得 3 类模型分别计算其相应的残差  $e_1, e_2$  和  $e_3$ 。根据刑事差大小确定板形缺陷的类型和程度，以便采取相应的控制手段。模型  $M_3$  的引入可识别缺陷中的 1/4 浪和边中复合浪，从而解决了现行控制中 1/4 浪和边中复合浪无法识别的问题。也可以先使用直线模型进行分析，确定板形缺陷中左偏斜或右偏斜，并用该结果修正应力曲线，再建立二次多项式模型或三角正弦模型。

### 3 小波分析用于板形缺陷识别的效果

小波分析用于板形缺陷识别，经过实际在线运行可得到较为理想的结果。结果表明：

1) 小波分析用于板形缺陷识别是可行的，板形识别结果与实际板形相符；

2) 运用小波方法进行板形缺陷识别能有效地对复合缺陷进行正确分类，并分辨出缺陷程度，为确定正确的控制策略提供了重要依据；

3) 在输入信号不完整以及输入信号带有噪声的情况下，仍能正确判断出板形缺陷和进行正确的识别。

图 3 是对一组数据分别利用 3 个模型进行辨识的结果。其中实线表示实测数据，虚线表示消噪后的数据，点划数表示模型拟合数据。对应 3 类模型的残差平方和分别为： $e_1^2 = 1.13 \times 10^{13}$ ， $e_2^2 = 2.78 \times 10^{12}$ ， $e_3^2 = 1.08 \times 10^{13}$ 。这组数据所对应的模型应为二次多项式模型，板形缺陷为稍有左偏的中浪。

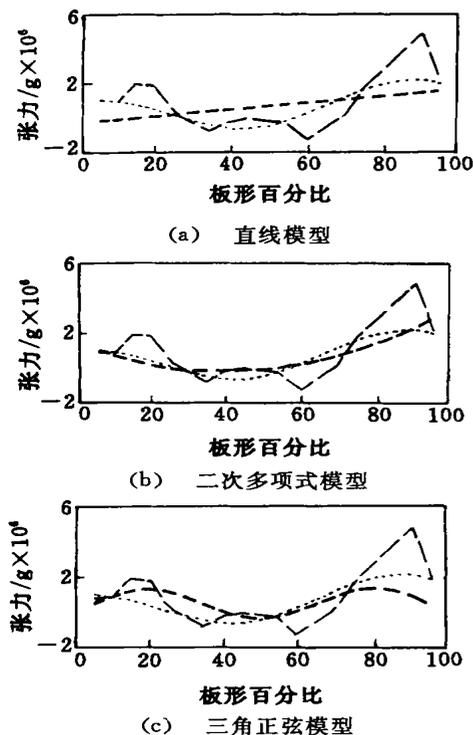


图 3 板形缺陷识别结果

浪。

注1 由于张力以 0.1g 为单位,所以残差看起来很大。若以  $t$  为单位,残差就显得很小了。

## 4 结 语

多次仿真实验表明,运用小波分析方法消除噪声并辅以常规辨识方法来识别板形缺陷是成功和有效的。据统计,在运用小波理论识别板形缺陷的系统中,其板形缺陷识别的准确率达 95%,大大优于原来的板形缺陷识别系统。

### 参考文献(References):

- [1] 崔锦泰. 小波分析导论[M]. 程正兴译. 西安: 西安交通大学出版社, 1995.
- [2] 胡昌华. 基于 MATLAB 的系统分析与设计——小波分析[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2000.
- [3] 王贞祥, 高立群, 李玮, 等. 系统辨识与参数估计[M]. 沈阳: 东北大学出版社, 1993.

## 科技部信息所举行中国科技论文统计结果新闻发布会 《控制与决策》影响因子在同类期刊中排名第一

本刊讯 2001 年 12 月 3 日, 科学技术部信息研究所在京举行“2000 年度中国科技论文统计结果”新闻发布会, 公布了 2000 年我国科技人员在国际和国内发表论文情况, 以及统计源期刊各项计量指标的统计结果。中央电视台、中央人民广播电台等媒体对体做了报道。

根据 2000 年科技论文统计结果, 《控制与决策》的影响因子为 0.513, 在信息科学与系统科学类期刊中, 在 1999 年排名第 2 位的基础上, 今年又上新台阶, 排名上升至第 1 位, 在新闻发布会上受到表彰。影响因子的定义如下:

影响因子=

$\frac{\text{该刊前 2 年发表论文在统计当年被引用的总次数}}{\text{该刊前 2 年发表论文总数}}$

它从一定意义上反映了期刊的效用和影响力, 是国际上通行的一个期刊评价指标。

喜讯传来, 编辑部全体同志都感到欢欣鼓舞。大家表示, 一定要再接再厉, 乘胜前进, 为进一步办好期刊而努力; 同时, 我们向关心和支持本刊工作的所有专家学者和广大同行表示衷心的感谢!

《控制与决策》编辑部