

小波分析在超声测厚信号特征提取中的应用

刘晓蕾,王召巴,陈友兴,金永,赵霞

(中北大学 电子测试技术国家重点实验室,太原 030051)

摘要:采用超声波对旋压固体火箭发动机的绝热层厚度进行检测时,检测信号中的纹理噪声影响了界面回波的确定,进而影响绝热层厚度的准确测量。通过分析绝热层超声测厚信号特点和噪声来源,提出了利用小波变换对检测信号进行处理的方法。仿真结果表明,运用小波分析得到的厚度特征有很大的改善,通过试件厚度的计算,验证了测量的有效性和准确性。

关键词:超声波检测;绝热层;小波变换;特征提取

中图分类号:TN553;TG115.28 文献标志码:A 文章编号:1000-6656(2010)12-0948-03

The Application of Wavelet Analysis in Characteristic Extraction of Ultrasonic Signal

LIU Xiao-Lei, WANG Zhao-Ba, CHEN You-Xing, JIN Yong, ZHAO Xia

(National Key Laboratory of Electronic test Technology in North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: During the ultrasonic thickness detection for the heat insulation layer of spinning-made solid rocket motors, the texture noises in the echo signals affected the determination of the interface returning wave and the accuracy of the thickness measurement. By analyzing the characteristics of ultrasonic thickness signals and the sources of the noises, a processing scheme using a wavelet analyzing post-processing program was proposed. Simulation results were presented to verify the validity and the accuracy of the measurement.

Keywords: Ultrasonic testing; Insulation; Wavelet analysis; Characteristic extraction

火箭发动机绝热层超声测厚技术是发动机质量评价研究的热点。由于发动机壳体是经过旋压而成,所以壳体外表面留有旋压纹理,造成超声回波信号的噪声较大,不易提取厚度特征,对厚度的测量带来困难。因此,研究超声测厚信号的特征提取具有重要意义。

1 板波诱发波测厚原理

超声板波(兰姆波^[1])在板(壳体)中传播时,既有横波,又有纵波。板中的质点基于这两种振动的合成,在其平衡位置附近做椭圆形运动,波动前进方向与板平行。若板的一侧粘有其它材料,板波在向前传播时,其中的横波会将部分声波透射到周围介

质中去。 A_0, S_0 型板波中的横波分量的能量集中在板的上下表面处,该特点可使壳体中传播的板波最大限度地能量透射入绝热层中,即透射率最大,以增大绝热层中的回波幅值。笔者基于板波的这一特性,研究了将其用于测量绝热层的厚度,检测原理如图1所示。

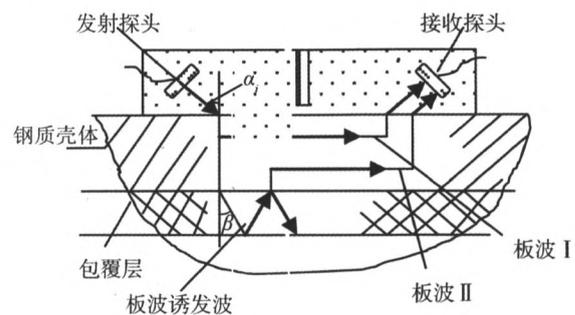


图1 板波诱发波超声测厚原理

为在壳体中产生相速度为 c_p 的 A_0, S_0 型板波,将超声发射探头与接收探头耦合于发动机壳体的外

收稿日期:2009-11-23

基金项目:山西省自然科学基金资助项目(2007011053);山西省青年学科带头人基金资助项目

作者简介:刘晓蕾(1984-),女,硕士,主要研究方向为信息处理与重建。

表面,选择探头入射角 α_i ,使其满足:

$$\sin\alpha_i = \frac{c_1}{c_p} \quad (1)$$

式中 α_i ——声波在探头透声楔中纵波入射角;
 c_1 ——透声楔中纵波速度;
 c_p —— A_0, S_0 型板波的相速度。

该板波沿水平方向向前传播,称为板波 I (图 1)。由于壳体下方粘有绝热层,板波 I 在向前传播时,横波成分将部分声波以纵波的形式透射入绝热层中,该纵波称为板波诱发波。同纵波从透声楔到壳体中满足式(1)产生板波一样,壳体中的板波透射入绝热层时应满足:

$$\sin\beta = \frac{c_2}{c_p} \quad (2)$$

式中 β ——绝热层中诱发纵波的折射角;
 c_2 ——绝热层的纵波声速。

由式(1)和(2)得:

$$\beta = \sin^{-1}\left(\frac{c_2}{c_1} \sin\alpha_i\right) \quad (3)$$

可见,诱发纵波以折射角 β 的方向在绝热层中传播,其被绝热层底面反射后,一部分声波再次进入壳体中,形成与板波 I 模式相同的板波,称为板波 II。当这两个板波到达接收探头时,就被接收。可以证明,板波 I 与板波 II 的时差 Δt 与包覆层的厚度 d 及板波的相速度 c_p 有如下关系:

$$\Delta t = 2d \frac{\sqrt{c_p^2 - c_2^2}}{c_p c_2}, \text{即: } d = \frac{1}{2} \Delta t \frac{c_p c_2}{\sqrt{c_p^2 - c_2^2}}$$

令:
$$A = \frac{c_p c_2}{\sqrt{c_p^2 - c_2^2}} \quad (4)$$

则:
$$d = \frac{1}{2} A \Delta t \quad (5)$$

当被测对象确定后, c_p 和 c_2 即确定,由上式可知 A 为常数。当测得板波 I 与板波 II 的时差 Δt 时,便可算出包覆层的厚度 d 。

综上所述,板波诱发波超声检测技术是一种借助于筒壳中板波在低声阻抗材料中形成的诱发波实现超声检测的方法。诱发波形成的板波 II 既携带了低声阻抗材料层的厚度信息,又携带了各层界面粘接信息,是一种理想的钢质筒壳火箭发动机内部绝热层质量检测技术。

板波沿着钢板表面传播,由于表面不光滑而造成的钢板厚度不均匀,从而造成对回波信号的影响,如图 2 所示。图中横坐标为采样点,纵坐标为振幅,从图中可以看出,一界面回波的整个波程都在钢板中

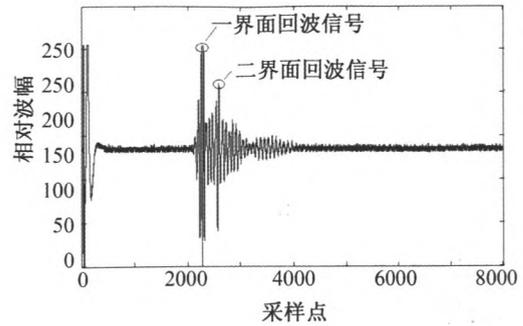


图 2 原始信号

传播,因而受到表面不光滑的影响也比较大,界面特征不容易区分,而二界面回波在整个钢板中传播的波程比较短,受到的影响也比较小。对此笔者采用小波变换来处理一界面回波信号,提取界面位置信息,最后根据超声波在其中的传播速率及其两界面反射回波的时间差计算绝热层厚度。

2 小波变换在绝热层超声测厚中的实现

旋压壳体对测量绝热层厚度的超声回波信号造成干扰,不易确定界面回波位置。利用小波在时频域可局部化的特性及在处理数字信号方面的优势,所以采用小波变换对回波信号进行分析处理。

2.1 小波提取位置信息

首先对原始信号进行降噪处理。小波消噪处理方式可分为强制消噪处理、给定软(或硬)阈值消噪处理和默认阈值消噪处理。这里采用 wden 函数产生的信号默认阈值,对绝热层超声原始回波信号进行降噪处理,降噪后的信号如图 3 所示。

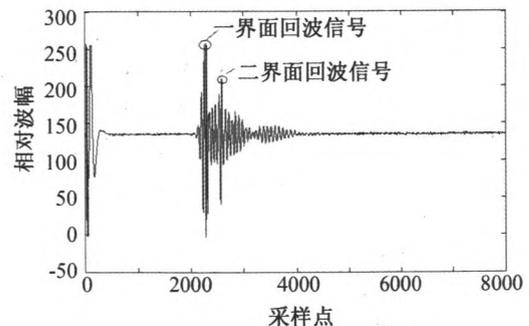
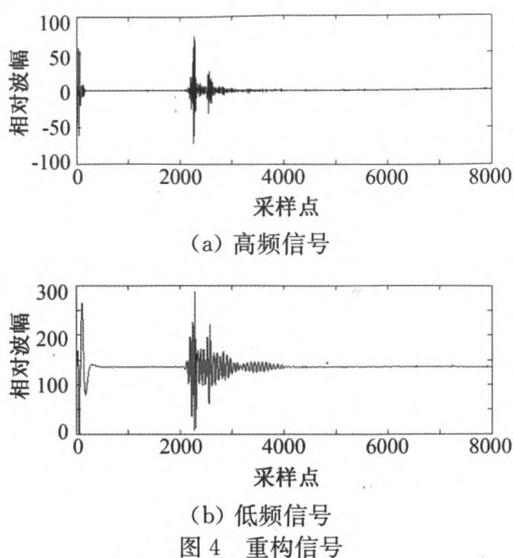


图 3 降噪后的信号

利用小波变换的多尺度特性对降噪后的信号进行分解,分别提取出其低频、高频系数,并重构,重构信号如图 4 所示。

根据图 4 可测出两界面之间的采样点之间的差值。为了提高测量的精确度,现采用不同的小波函数对信号进行分解重构。选取处理之后使两层界面



比较明显的小波函数,读出两界面峰值处的采样点值,并计算出其采样点之间的差(表 1),分解层数保持不变,始终分解 3 层。

2.2 绝热层厚度计算

根据介绍的测量原理及公式,需测出 A_0, S_0 型板波的相速度 c_p ,绝热层的纵波声速 c_2 。根据试验测得绝热层的纵波声速 $c_2 = 1177.38\text{m/s}$;板波的

表 1 两界面采样点之间的差

| 小波函数 | 一界面 | 二界面 | 采样点之差 |
|------|-------|-------|-------|
| db4 | 2 282 | 2 584 | 302 |
| db7 | 2 279 | 2 594 | 315 |
| sym7 | 2 285 | 2 593 | 308 |

相速度 $c_p = 2\,974\text{ m/s}$ 。将 c_2, c_p 代入式(4),可求出 $A = 1\,282.13\text{ m/s}$ 。根据两界面采样点之间的差值和已知的采样频率(100 MHz),算出时间间隔,再由式(5)可计算出绝热层的厚度,见表 2。

表 2 厚度测量结果

| 小波函数 | 采样点之间的差值 | 时间间隔 $\Delta t/\text{s}$ | 绝热层厚度/mm | 实物测量值/mm | 相对误差/% |
|------|----------|--------------------------|----------|----------|--------|
| db4 | 302 | 3.02×10^{-6} | 1.94 | 2.2 | 11.8 |
| db7 | 315 | 3.15×10^{-6} | 2.00 | 2.2 | 9.10 |
| sym7 | 308 | 3.08×10^{-6} | 1.92 | 2.2 | 12.7 |

可以看出,db7 小波对测量绝热层超声回波信号的分析处理有比较好的效果,能够得到比较准确的结果。(下转第 972 页)

SGS 携手华健打造服务全国面向亚太的高水平无损检测行业国际化服务平台

2010 年 11 月 3 日中国上海——近日,全球领先的检验、鉴定、测试和认证机构 SGS 通标标准技术服务(上海)有限公司(以下简称 SGS)与国内知名的 A 级资质检测企业烟台华健检测工程有限公司(以下简称华健)宣布进行战略合作。此次两家公司的强强联手标志着 SGS 的本土化战略取得了里程碑式的发展,也印证了其助推国内无损检测行业升级发展的坚定承诺。同时,华健将依托 SGS 丰富的国际项目经验、成熟的人员培训体系以及先进的管理制度,进一步拓展其在无损检测领域的服务能力,从而为本土高端客户和中小企业提供具有国际竞争力的检测服务。

这些年,华健公司积极响应市、区党委政府的号召,努力打造面向本地、本土中小企业的公共服务平台,在国家级重大工程项目无损检测服务方面取得较大作为,塑造了良好的企业形象。与 SGS 合作后,新联合公司力争在三年内成为亚太地区领先的无损检测服务行业的龙头。

SGS 和华健签署战略合作后,双方将致力于推广和发展尖端超声波衍射时差法技术、相控阵技术和红外检测等技术,并且大规模投资建设无损检测试验和材料测试实验室,以提高整体检测水平。针对各行业出现的无损检测的新问题,SGS 将利用其全球化的先进技术平台帮助华健进行技术研发。同时,SGS 还将引入国际先进的无损检测培训课程和

技术专家,培养高素质的无损检测专业人才并促进国内外在该领域的积极沟通,从而实现合作共赢。

除了业内领先的无损检测服务外,SGS 还能为运输、工业制造和贸易、建筑工程、石油化工和能源等工业领域提供先进的“一站式”技术鉴定、检验、测试及评估等服务。值得一提的是,在建筑工程领域,SGS 被委托为 2010 上海世博会中国国家馆提供钢结构检验,并为 2010 上海世博会英国国家馆进行全部项目检测。而作为国内无损检测行业的领头羊,华健也一直致力于为中国石化集团、中国石油集团、中国海洋石油总公司在内的大型国内外企业提供权威的检测服务。

作为公正客观的全球检验、鉴定、测试和认证服务的领导者和创新者,SGS 始终以提升人类健康、安全及环保为己任,致力于为各个供应链的可持续发展提供专业化解决方案。从食品质量到产品安全,从节能减排到环保符合性,从制造流程的改善到企业社会责任的审核,SGS 帮助企业在获取商业成功的同时积极履行对环境和社会的责任,为中国经济的可持续性发展做出应有贡献。在中国,SGS 将继续以负责任的态度经营企业、回馈社会,用实践推动中国经济、环境和社会的和谐共赢。