

火箭发动机厚层包覆质量的信号处理

苗 慧 路宏年

(北京航空航天大学机械工程及自动化学院,北京 100083)

文 摘 对于火箭发动机装药包覆胶接状态和包覆层厚度的诊断,利用小波在应有频率与时段上的重构,基本恢复出理想的检测信号,这种检测方法针对层厚处伴有噪声干扰时的微弱信号检测有较好的效果。

关键词 火箭发动机,小波,重构

Signal Processing of Thick Coating Quality for Rocket Motor

Miao Hui Lu Hongnian

(School of Mechanical Engineering, Beijing University of Aeronautics & Astronautics, Beijing 100083)

Abstract To diagnose the binding quality and the coating-layer thickness of the solid rocket motor, an approach for resumming the ideal signal by the wavelet reconstruction on the useful time field and frequency field is presented in this paper. The approach is effective to monitor the faint signal with the noise at the thick-layer position.

Key words Rocket motor, Wavelet, Reconstruction

1 引言

固体火箭发动机装药包覆胶接状态和包覆层厚度及其不一致性直接关系到火箭发射安全性和发动机的工作正常性,因此对胶接状态和层厚的检测一直是国内外研究的重要课题。超声作为介质应力波,包覆界面对其有良好的反射特性,故目前大部分检测研究集中在超声反射回波检测方面。对于以涂敷方式生成的包覆层、涂敷层厚度及不一致性检测是很重要的。当包覆层比较厚时($> 1.5 \text{ mm}$),界面反射回波比较小,容易被噪声淹没,给后续的信号处理与识别制造了很大困难,为此本文研究了一种基于小波变换的第二回波的检测方法,它可使有用信号清晰的复现出来,大大提高了信噪比,为降低模式识别的识别率提供了保证^[1]。

2 原理

火箭发动机包覆质量检测原理如图 1 所示。探

头发射的超声波经耦合介质到达介质/壳体界面(零界面),界面上反射声波被吸声板吸收(图中未画出),透射声波进入壳体。如果包覆层与壳体胶接良好,那么超声波到达壳体/包覆层界面(I界面)时,一部分声波被 I 界面反射,成为探头接收的第一回波 $r(t)$;一部分声波透射入包覆层中,在包覆层/空气界面(II界面)发生反射,成为探头接收的第二回波 $s(t)$,它携带了发动机包覆层胶接质量和层厚信息。

$$s(t) = r(t - t_0)$$

式中, α 是包覆层材料的声衰减系数, t_0 是由包覆层厚度引起的 $s(t)$ 相对 $r(t)$ 的延迟。当 I 界面脱粘时, $\alpha = 0, t_0 = 0$; 否则, $0 < \alpha < 1, t_0 > 0$ 。

综上所述可以写出如下公式:

$$x(t) = r(t) + \alpha r(t - t_0)$$

式中, $x(t)$ 为探头接收的原始信号波形。

收稿日期:2003-08-25;修回日期:2003-10-09

苗慧,1979年出生,硕士研究生,主要从事火箭发动机包覆层的超声无损检测工作

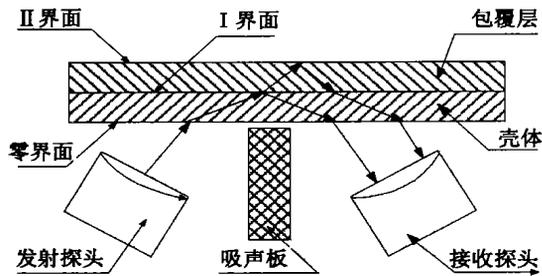


图1 火箭发动机包覆质量检测原理图

Fig.1 The testing principle of rocket motor coating quality

(1) 检测难点

因为发动机包覆层较厚,接收探头收到的第二回波很小,而且由于噪声的干扰,第二回波难以分辨,如图2所示。

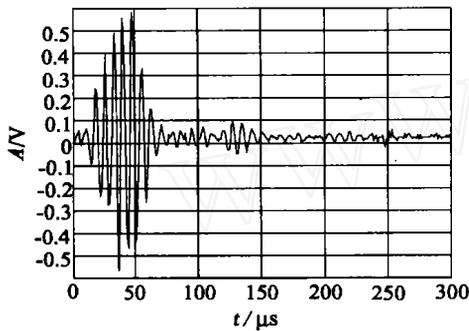


图2 第二回波原始波形

Fig.2 The original signal of second waveback

(2) 解决思路

考虑在理想情况下,接收探头收到的波形应该是在某几段时间内有单一频率的波形,而别的时刻上都应为零,如图3所示。

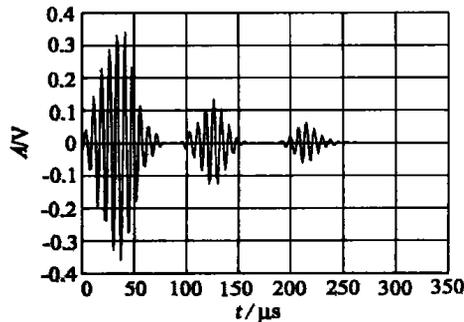


图3 理想情况下的回波波形

Fig.3 The waveback signal on ideal condition

欲复现原信号,只须在接收探头接到波形的时

间范围内即时域范围和波形的固定频率上合成即可。接收到波形的时刻在图3中有三段,而波形的固定频率即为探头的中心频率。这提示我们利用小波的性质,选择小波变换来解决这一问题。因为声波信号在时域上变化比较剧烈,付立叶变换选用的是连续的三角函数作为基底,对这种实时、突变的信号处理效果并不是很明显;而小波在时域上是紧支的,最适宜处理这种突变信号,因而选用小波变换算法对信号进行处理^[2,3]。

3 实验

(1) 根据超声波形选定小波基;(2) 用原始信号在选定的小波基上进行多分辨率分解;(3) 求出第一回波与第二回波的时域范围;(4) 在所求时域范围以及中心频率处合成。每步算法如下。

(1) 因为理想超声波近似为幅值变化的正弦波形,所以由此构造小波基。

$$f(x) = \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{a}} e^{\frac{x^2}{a}} \sin(x)$$

式中 f 为探头的中心频率,在此为 2.5 MHz。

(2) 小波的多尺度分解^[4]。

$$m, n(k) = 2^{m/2} (2^m k - n)$$

$$DWTf = DWT(m, n) = 2^{m/2} \sum_k f(k) (2^m k - n)$$

式中, m 为频率尺度, n 为时间尺度, k 为时间变量, $f(k)$ 为信号函数, $m, n(k)$ 为在 m 频率、 n 时刻的小波函数, DWT 为小波变换, $DWTf$ 为对信号 $f(k)$ 进行的小波变换。

(3) 将信号解调,作出包络,对此包络线进行阈值分割,若大于阈值则为所需时段,小于阈值则赋为零,在小波合成时舍去。

(4) 信号在所需时域及频率上重构:

$$f(k) = \sum_m \sum_n DWT(m, n) m, n(k)$$

式中 m 为中心频率, n 为第三步所求时域范围。

4 结果与讨论

(1) 将原始信号经上述小波算法处理的结果见图4。从图4看到:小波变换可以只在需要的时刻重构,因而突出了第二回波,并能有效地抑制噪声,从而提高了信噪比。

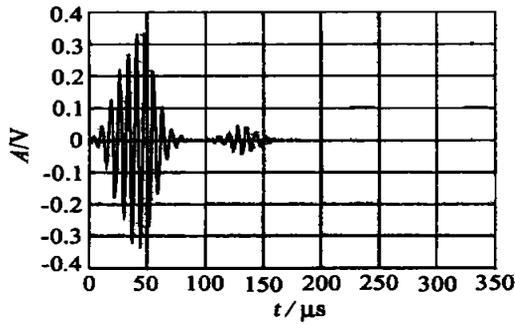


图4 原始信号经上述小波算法处理后的波形

Fig.4 The original signal after processing of wavelet transform

(2)原始信号经付立叶变换处理后的波形见图5^[5]。

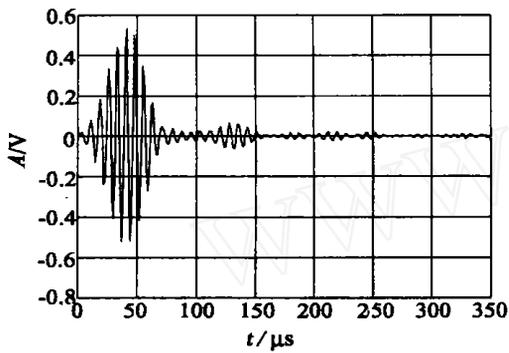


图5 原始信号经付立叶变换处理后的波形

Fig.5 The original signal after processing of the FFT

从图5可看出,付立叶变换在整个时域上都是有波动的,这是由它的定义决定的,付立叶变换在时域上是一个整体,并不能以特定窗口观察时域波形。

而小波变换相当于在时域上加了任意大小的窗口,因而重构后的波形不会有突变。

比较并计算图4和图5,可得出图4的第二回波幅值比图5的大10%,这在信号处理中是很可观的。

若将付立叶变换后的波形再作“门槛”处理,也可抑制一部分噪声,但没有小波变换那么平滑,这是由两种变换的本质不同造成的。

5 结论

(1)应用小波多尺度分解,再在固定频率上重构,相当于带通滤波,对信号自动进行了降噪。

(2)在给定时域范围上对信号重构易于消除不必要的噪声,而这些噪声往往是别的方法难以消除的,这就大大提高了信噪比,使信号基本接近于理想信号,这正是小波变换比其它变换的优势所在。

参考文献

- 1 张斌兴. 固体火箭发动机燃烧室界面脱粘的声振检测. 上海航天, 2002; (4): 54 ~ 57
- 2 杨福生. 小波变换的工程分析与应用. 北京: 科学出版社, 2000: 63 ~ 80
- 3 Legendre S, Goyette J, Massicotte D. Ultrasonic NDE of composite material structures using wavelet coefficients. NDT & E International, 2001; 34(2): 31 ~ 37
- 4 Daubechies I. Orthonormal bases of compactly supported wavelet. Comm. on pure and Appl. Math., 1998; 41(3): 59 ~ 66
- 5 刘镇清等. 超声无损检测中的频谱分析技术. 无损检测, 2001; 20(2): 112 ~ 118

(编辑 李洪泉)

系列风力发电机组

本成果曾获国家科技进步二等奖。该机型采用了新型翼型。提高了风轮效率;采用翘板结构,消除了哥氏力矩对风轮轴的影响,提高了对各种不平衡力承受能力;螺旋桨弯距机构由外螺旋改成内螺旋,改善了受力状况。通过风洞试验和大风地区长期外场运行考核,表明该机性能良好,调速结构安全可靠,抗大风能力强,在风速达14级台风时,风力机仍能保持额定功率输出,无需停车装置。其技术参数:(1)起动风速为3 m/s;(2)额定风速为8 m/s;(3)工作风速范围为3 m/s ~ 45 m/s;(4)发电机为三相永磁交流型;(5)额定输出电压为28 V(整流后);(6)额定输出功率为300 W;(7)风轮直径为2.1 m;(8)风轮叶片数为2片;(9)工作环境温度为-40 ~ +45;(10)浆毂中心高度为5.35 m;(11)全机质量为115 kg。

本机组除供家庭应用外,可广泛应用于船舶、公路道班、气象台站、微波通讯等领域。该机组在这些部门及海岛和广大农村、地区等缺电、无电的地方推广应用潜力极大。经济效益与社会效益明显。

(210016 南京航空航天大学, 6646131 - 2160)

·李连清·

宇航材料工艺 2004年 第3期