

·信号与信息处理·

基于小波变换的爆炸物太赫兹光谱降噪分析

姚宝岱¹, 王 高²

(1. 中北大学 信息与通信工程学院, 山西 太原 030051; 2. 中北大学 仪器与动态测试教育部重点实验室, 山西 太原 030051)

摘要:采用太赫兹时域光谱技术(terahertz time-domain spectroscopy, THz-TDS)对钝感RDX(黑索金)和HMX(奥克托金)炸药在0~2.5 THz频段的太赫兹吸收光谱进行了探测。得到了待测样品的太赫兹吸收光谱,确定了其特征吸收峰的位置,与其他研究机构所测吸收谱进行了对比分析。结果表明,利用太赫兹时域光谱技术在空气环境下测量样品时,样品的太赫兹光谱会因空气中水蒸气的影响而出现振荡现象。并通过小波变换对空气环境中测试的数据进行了处理,消除了太赫兹光谱中水蒸气吸收造成的影响,表明了该方法的可行性。

关键词:太赫兹时域光谱技术;爆炸物;吸收光谱;小波变换

中图分类号:O433.11

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2011)01-0063-03

Denoising Analysis of Terahertz Spectra of Explosives Based on Wavelet Transform

YAO Bao-dai¹, WANG Gao²

(1. School of Information & Communication Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China; 2. Key Laboratory of Instrument Science & Dynamic Measurement Ministry of Education, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: The terahertz absorption spectra of the insensitive explosives RDX and HMX in the spectral range from 0 to 2.5 THz are detected with terahertz time-domain spectroscopy. The terahertz absorption spectra and the characteristic absorption peak of test samples are obtained, and comparing with the absorption spectra measured by other research institutions. The results show that the absorption spectra measured in air environment have strong oscillation due to the absorption of water vapor. So the data measured in the air environment are processed with the wavelet transform to eliminate the influence of water vapor, and this method is feasible.

Key words: terahertz time-domain spectroscopy; explosives; absorption spectra; wavelet transform

近年来,利用太赫兹时域光谱技术探测爆炸物的特征吸收谱由此识别爆炸物,一直是人们研究的重点和热点。但该项技术在实际应用中所面临的技术难题之一就是空气中水蒸气的影响,理论和实验均表明,水蒸气在太赫兹频率范围存在强烈的吸收。不论湿度大还是小,爆炸物的吸收谱都显示了相同的走向趋势,都具有相同的吸收峰位。在湿度较大时,吸收峰的峰值较高,谱线容易产生振荡^[1]。

通常,在实验中降低水蒸气吸收影响的方法是对实验系统充以氮气或将其抽成真空,但这在实际应用中是无法实现的,必须采用数据处理的方法解决。小波分析是一种新兴的数学分支,它是泛函数、Fourier分析、调和分析、数值分析的最完美的结晶;在应用领域,特别是在信号处理、图像处理、语音处理以及众多非线性科学领域。小波变换与Fourier变换相比,是一个时间和频域的局域变换,因而能有

收稿日期:2010-12-29

基金项目:中北大学校自然科学基金

作者简介:姚宝岱(1986-),男,安徽淮南人,硕士研究生,主要研究方向为太赫兹光谱技术检测爆炸物;王高(1973-),男,山西侯马人,副教授,硕士生导师,主要研究方向为光电检测技术、非线性光学、太赫兹光谱检测技术。

效地从信号中提取信息,通过伸缩和平移等运算功能对函数或信号进行多尺度细化分析,解决了Fourier变换不能解决的许多问题。文中利用Origin8.0软件中的小波降噪工具对钝感RDX(黑索金)和HMX(奥克托金)炸药的太赫兹吸收光谱进行降噪处理。

1 实验及小波降噪分析

1.1 实验

实验中所用THz-TDS系统见参考文献[2],实验时温度为23.8℃,湿度为33%。待测炸药样品先在研钵中小心研磨成微小均匀的颗粒,然后将样品压成直径约为10mm的圆片,压力为50MPa。待测药柱的质量和厚度分别为HMX:0.0897g,0.975mm;RDX:0.1019g,0.977mm。首先获得通过自由空间THz脉冲的时域波形,即参考波形。然后测量THz脉冲透射样品之后的时域波形,即信号波形。分别将测得的参考和透过样品的THz时域谱进行快速傅里叶变换获得相应的频域谱。则基于样品厚度及电场强度的吸收率可表示为

$$a(\omega) = \ln \frac{E_r(\omega)}{E_s(\omega)} / d \quad (1)$$

其中, $E_r(\omega)$ 是初始的THz波的频谱强度; $E_s(\omega)$ 是经过样品后的THz波的频谱强度; d 是待测样品的厚度。利用Origin8.0软件绘制的钝感RDX及HMX的太赫兹吸收谱如图1所示。从吸收光谱中可以看出,由于实验室内空气湿度为33%,湿度较大,因此谱线都存在不同程度的振荡[2]。

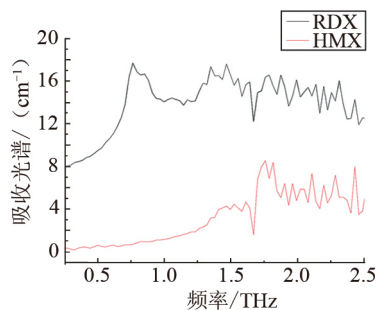


图1 钝感的RDX及HMX的THz吸收谱

1.2 小波变换基本原理

小波的定义如下:小波是满足一定条件的函数 $\psi(t)$ 通过伸缩和平移产生的一个函数族

$$\psi_{a,b}(t); \psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2)$$

$$a, b \in R, a \neq 0$$

其中, $\psi(t)$ 为小波母函数; a, b 分别为 $\psi(t)$ 的伸缩和平移因子。

小波变换的定义为小波变换为某函数或被处理的信号 $f(t) \in R^2$ 在小波上的投影,即 $f(t)$ 和 $\psi(t)$ 的内积,则连续小波变换为

$$\omega_f(a,b) = \langle f(t), \psi_{a,b}(t) \rangle = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad (3)$$

其中, $\omega_f(a,b)$ 为小波变换系数; a 称为尺度因子,所以它的变化代表频率的变化; b 称为平移因子,它的变化代表时间的变化。实际应用中多使用尺度因子及平移因子均离散的二进制离散小波变换,取 $a=2^m$, $b=n2^m$,则对应的小波函数如下[3]

$$\psi_{m,n}(t) = 2^{-\frac{m}{2}} (2^{-m}t - n) \quad (4)$$

1.3 小波函数

Haar小波的定义为

$$\psi_H(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < \frac{1}{2} \\ -1 & \frac{1}{2} \leq t < 1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

Haar小波是目前唯一既具有对称性又具有有限支撑的正交小波,但Haar小波是不连续小波,由于 $\int t\psi(t)dt \neq 0$,因此 $\psi(\Omega)$ 在 $\Omega=0$ 处只有一阶零点,这使得Haar小波在实际的信号分析与处理中受到限制,多用于理论研究。

Daubechies小波系是由世界著名的小波分析学者Inrid Daubechies构造的小波函数系。DB(N)(N为其阶数且 $N=1,2,\dots,10$, $N=1$ 即为Haar小波),DB小波不具有解析式且不具备对称性,从而不具有线性相位,光滑性也较差,需要增加光滑性,则需要增加其阶数。

Biorthogonal小波系通常表示为BiorNr.Nd形式。

$Nr=1$	$Nd=1,3,5$
$Nr=2$	$Nd=2,4,6,8$
$Nr=3$	$Nd=1,3,5,7,9$
$Nr=4$	$Nd=4$
$Nr=5$	$Nd=5$
$Nr=6$	$Nd=8$

其中, Nr 表示低通重建滤波器的阶次(Reconstruc-

tion); Nd 表示低通分解滤波器的阶次(Decomposition)。Biorthogonal小波为双正交小波,是紧支撑的,更主要的是它们是对称的,因此具有线性相位性,它主要应用在信号与图像的重构中。

1.4 小波变换降噪处理

Origin8.0软件中的小波变换降噪处理工具位于菜单命令[Analysis]所提供的[Signal Processing]选项中[Wavelet]工具中的[denoise]菜单内,其中包含3种小波:Haar小波、DB小波系即Daubechies小波系、Bior小波系即Biorthogonal小波系。为了取得较好的降噪滤波效果,作者对这3种小波的不同阶数,不同分解层数的降噪效果进行了详细的对比研究^[4]。

首先,选用Haar小波对2种炸药的太赫兹吸收光谱进行降噪处理,图2为在选用Haar小波,且

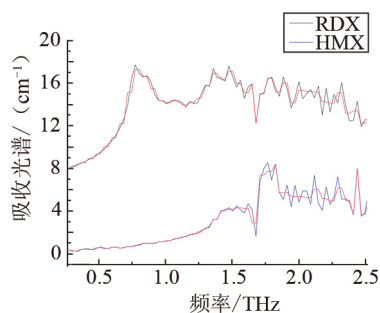


图2 Haar小波降噪

Thresholding Level选项:首先,Threshold of every level选项:50%时所得的降噪光谱图;其次,选用DB(2~10)系列小波进行研究。结果表明,DB4小波处理效果最好(如图3所示);最后对Bior(1.1~3.7)系

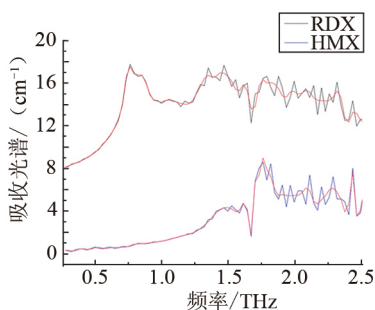


图3 DB4小波降噪

列小波进行研究,结果表明,Bior3.5小波处理效果最好(如图4所示)。研究表明:对于Origin8.0软件所提供的小波降噪工具箱中的小波函数,利用DB4和Bior3.5小波函数对钝感RDX(黑索金)和HMX

(奥克托金)炸药的吸收光谱的降噪效果最好。Origin8.0软件小波降噪工具箱中的Thresholding Level选项值越大时,噪声信号被去除越多,同时信号本身失真越严重;Threshold of every level选项值越小,信号的细节成分则保留越多。

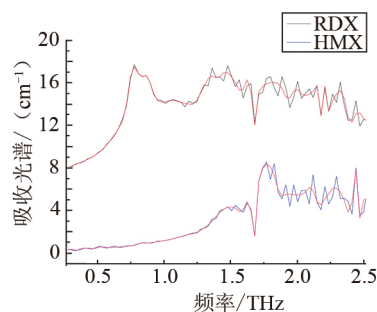


图4 Bior3.5小波降噪

2 结论与展望

文中通过太赫兹时域光谱技术探测了钝感RDX(黑索金)和HMX(奥克托金)炸药在0~2.5 THz频段的太赫兹吸收光谱,由于空气中水蒸气的存在使谱线产生了不同程度的振荡。采用Origin8.0软件中提供的小波降噪工具箱对其进行降噪处理,研究结果表明:利用DB4和Bior3.5小波函数对钝感RDX(黑索金)和HMX(奥克托金)炸药的吸收光谱的降噪效果最好,处理结果较为理想。由于Origin8.0软件中提供的小波函数有限,下一步拟采用Matlab软件对该课题进行更深入地研究工作,最终可以消除实际应用中水蒸气对太赫兹吸收光谱的影响。

参考文献

- [1] 冯瑞姝. 爆炸性物质的THz光谱的研究[D]. 北京:首都师范大学,2009:1-37.
- [2] 姚宝岱,王高. 钝感RDX和HMX炸药的太赫兹光谱分析[J]. 光电技术应用,2010,25(6):11-13.
- [3] 许景周,张希成. 太赫兹科学技术和应用[M]. 北京:北京大学出版社,2007:206-209.
- [4] 方勇. 数字信号处理-原理与实践[M]. 北京:清华大学出版社,2006:234-258.
- [5] 方安平,叶卫平. Origin8.0实用指南[M]. 北京:机械工业出版社,2009:212-221.
- [6] 王京港,程明霄,林锦国,等. 基于小波变换的拉曼光谱仿真分析[J]. 计算机仿真,2010,27(8):334-337.
- [7] 陈龙旺,孟阔,张岩. 小波变换在太赫兹时域光谱分析中的应用[J]. 光谱学与光谱分析,2009,29(5):1168-1171.