

·光电系统与amp;设计·

钝感 RDX 及 HMX 炸药的太赫兹光谱分析

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并与其他研究机构所测吸收谱进行了对比分析. 实验结果表明: 利用 THz-TDS 技术可以对炸药进行检测和识别, 同时可以对样品组成的细微变化进行分析和鉴别. 为利用 THz-TDS 技术研究其他爆炸性物质, 建立爆炸物的指纹谱库提供了科学依据.

关键词:太赫兹; 特征吸收光谱; 爆炸物检测

中图分类号: O433.4

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2010)06-0011-03

Analysis of Terahertz Spectrum of Explosives RDX and HMX

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 (North University of China),
Ministry of Education, Taiyuan 030051, China;)

Abstract: The terahertz absorption spectrum of the insensitive explosives RDX and HMX in the spectral range from 0 to 2.5 THz with terahertz time domain spectroscopy were detected. The terahertz absorption spectrum and the characteristic absorption peak of samples were acquired. And the position of characteristic absorption peak was determined, analyzed and compared with the detected absorption spectrum from other research institutes. The results show that the terahertz time-domain spectroscopy can be used to detect and identify explosives as well as the slight component change of samples. It also offers the scientific basis of establishing the fingerprint spectrum library with the terahertz time-domain spectroscopy.

Key words: terahertz; characteristic absorption spectrum; explosive detection

太赫兹辐射(THz, $1 \text{ THz} = 10^{12} \text{ Hz}$), 在电磁波谱中位于微波和红外辐射之间, 其频率范围为 0.1~10 THz. 近年来, 随着太赫兹(THz)技术的快速发展, 它在安检、航空航天、生命科学、化学等领域展现了巨大的应用前景. 由于多种爆炸物分子的振动和转动能级谱处于太赫兹频段, 利用太赫兹光谱技术可以测得爆炸物的特征吸收谱, 由此识别爆炸物, 进而分析物质的内部结构信息. 并且太赫兹波的光子能量低于各种化学键, 不会引起电离反应. 它对于大

多数包装材料(衣物, 塑料, 陶瓷等)有很强的穿透力, 因此可以实现对爆炸物的非电离和高灵敏探测. 太赫兹波的特性使其在探测人体携带或包装内的隐蔽爆炸物上已成为一种极具竞争力的方法.

1 实验及数据分析

1.1 实验装置

实验中使用的 THz-TDS 系统如图 1 所示. 利

收稿日期: 2010-10-18

基金项目: 中北大学校自然科学基金

作者简介: 姚宝岱(1986-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为太赫兹光谱技术检测; 王高(1973-), 男, 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.

用 GaAs 晶体产生和探测太赫兹波,超短脉冲光源为锁模钛蓝宝石飞秒激光器,中心波长为 800 nm,重复频率为 80 MHz,脉宽为 100 fm.实验室温度为 23.8 ℃,湿度为 33%.

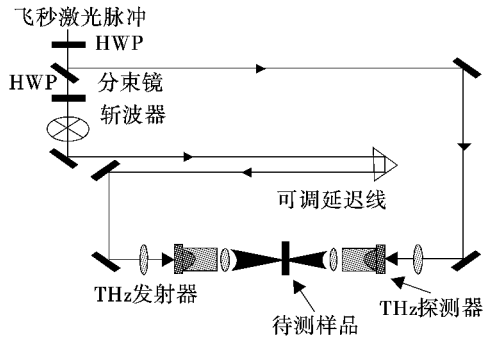


图 1 THz-TDS 系统图

1.2 实验样品制备

奥克托今(环四亚甲基四硝胺),简称 HMX,分子式为 $C_4H_8N_8O_8$. HMX 是一种热安定性、爆速都高于黑索金的高能炸药,它是当前已使用的能量水平最高、综合性能最好的单体炸药. HMX 为白色晶体,它有 α 、 β 、 γ 和 δ 四种晶型. 该文中研究的是 β 型 HMX,是常温下的稳定晶型. 黑索金(环三亚甲基三硝胺),简称 RDX,其分子式为 $C_3H_6N_6O_6$. RDX 为白色粉末状结晶,溶于丙酮、乙酸等,它是一种重要的单体炸药,化学安定性好,爆速较高,撞击和摩擦等机械感度也较大,广泛用于军事、航天、采矿和化工技术等领域,具有很高的研究价值. 钝感 RDX 和 HMX 是在单体炸药的基础上添加了钝感剂. 炸药中的钝感剂能包覆于炸药颗粒表面,填充炸药中的空隙,可减小炸药间的摩擦,分散外界作用力和吸收热量,从而降低产生热点的概率而使炸药钝感^[1].

首先将待测炸药样品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为 10 mm 的圆片,压力为 50 MP. 4 片待测药柱的质量和厚度分别为 HMX-1:0.089 7 g,0.975 mm;HMX-2:0.1004 g,0.963 mm;RDX-1:0.101 9 g,0.977 mm;RDX-2:0.097 6 g,0.981 mm.

1.3 数据处理

首先获得通过自由空间太赫兹脉冲的时域波形,即参考波形.然后测量太赫兹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太赫兹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

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

其中, $E_r(\omega)$ 是初始的 THz 波的频谱的强度; $E_s(\omega)$ 是经过样品后的 THz 波的频谱的强度; d 是待测样品的厚度.利用 Origin 软件处理后所得钝感的 RDX 及 HMX 的太赫兹吸收谱如图 2、图 3 所示.

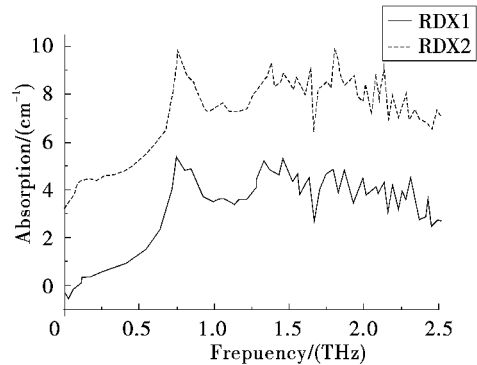


图 2 钝感 RDX 的 THz 吸收谱

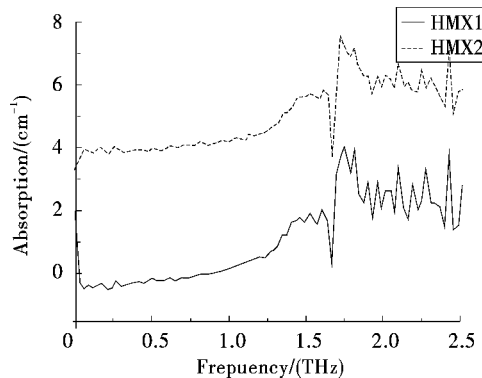


图 3 钝感的 HMX 的 THz 吸收谱

通过分析钝感 RDX 和 HMX 的太赫兹吸收谱,可以看出不同种类的炸药在 THz 波段具有不同的特征吸收峰及谱线走势,可以利用该特性进行爆炸物种类的鉴别.图 4 为首都师范大学所测 RDX 及 HMX 单质炸药(未钝感)的太赫兹吸收谱.表 1 为本实验室与其他各研究机构所测太赫兹特征吸收峰位置对比^[1-5].对比之后,可见吸收谱的走势一致,但本实验室所测谱线出现了振荡,且特征吸收峰的位置有微小的偏移.主要原因如下:(1)为了模拟安检现场,实验室在制作药柱时未添加聚乙烯粉末,因此药柱对 THz 波的吸收过强,导致谱线出现振荡.而其他研究机构在进行测试时都添加了聚乙烯粉末,降低了样品对 THz 波的吸收.(2)测试时,实验室内的湿度为 33%,其他机构进行测试时,在装置中充入了氮气,或是在湿度小于 5% 时进行探测.参

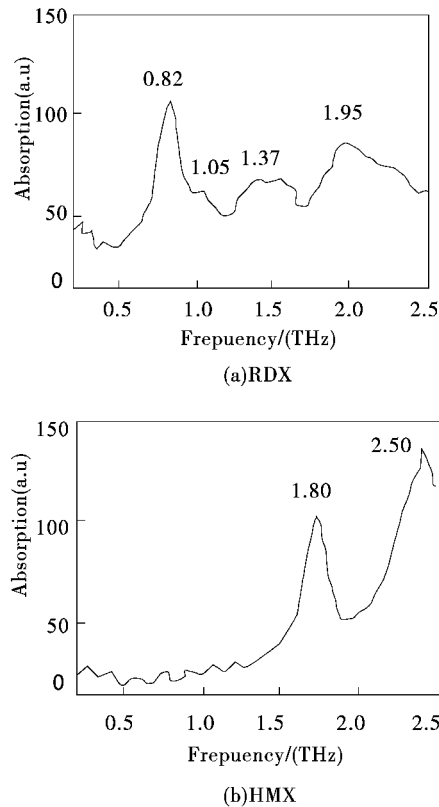


图4 首都师范大学所测 RDX 及 HMX 的 THz 吸收谱

表1 各研究机构测得特征吸收峰位置

科研机构	RDX(0~2.5 THz) 特征吸收峰位置	HMX(0~2.5 THz) 特征吸收峰位置
伦斯勒理工学院	0.82, 1.05, 1.50, 1.96, 2.20	1.78, 2.51
约翰霍普金斯大学	0.820, 1.045, 1.402, 1.545, 1.935,	0.950, 1.352, 1.739, 2.060, 2.421
新泽西理工学院	0.79, 1.05, 1.34, 1.44, 1.56, 1.77, 1.92	(无)
美国海军研究实验室	0.839, 0.876, 1.04, 1.276, 1.351, 1.550, 1.642, 1.806, 1.864, 2.069, 2.290, 2.370	(无)
首都师范大学	0.82, 1.05, 1.37, 1.95	1.80, 2.50
中北大学(钝感)	0.762, 0.82, 1.464, 1.502, 1.552, 1.640, 1.933, 2.195, 2.283	1.815, 2.108, 2.430

考文献[1]中进行了相关研究. 研究结果表明, 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. (3) 实验室所测炸药为钝感 RDX 和 HMX 是在单体炸药的基础上添加了钝感剂, 使得特征吸收峰出现微小偏移. 这

也表明了 THz 光谱技术能够对样品组成的细微变化作出分析和鉴别.

2 结 论

绝大多数炸药在 0~2.5 THz 频段内具有特征吸收峰, 目前仅有硝酸铵、tetra(2,4,6-三硝基苯甲安)、1,3,5-TNB、1,4-DNB 炸药在此频段内无特征吸收峰. 文中探测了钝感 RDX 和 HMX 在 0~2.5 THz 的太赫兹吸收光谱, 获得了样品的吸收谱和特征吸收峰的位置. 结果表明, 钝感 RDX 及 HMX 具有太赫兹吸收谱和特征吸收峰. 根据 THz-TDS 技术所测炸药特征吸收峰的位置可以鉴别炸药的种类. 由于爆炸物的 THz 吸收光谱对样品的组成非常敏感, 还可以利用该特性分析未知混合炸药的化学成分. 这也表明了 THz-TDS 技术对于爆炸物特征识别及安全检测领域具有重要的应用价值. 但由于爆炸物种类繁多, 建立爆炸物特征吸收峰库需要进行大量工作, 将 THz-TDS 技术应用于安检领域仍需解决诸多技术难题.

参考文献

- [1] 冯瑞姝. 爆炸性物质的 THz 光谱的研究[D]. 2009:1-37.
- [2] 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.
- [3] Michael J Fitch, Megan R Leahy-Hoppa, Edward W Ott, et al, Molecular absorption cross-section and absolute absorptivity in the THz frequency range for the explosives TNT, RDX, HMX, and PETN[J]. Chemical Physics Letters, 2007:443:284-288.
- [4] Feng Huang, Brian Schulkin, Hakan Altan, et al. Terahertz study of 1,3,5-trinitro-s-triazine by time-domain and Fourier transform infrared spectroscopy[J]. Applied Physics Letters, 2004, 85(23):5535-5537.
- [5] Joseph S Melinger, N Laman, D Grischkowsky. The underlying terahertz vibrational spectrum of explosives solids[J]. Applied Physics Letters, 2008, 93(011102): 1-3.
- [6] 冯瑞姝, 徐栩. 利用太赫兹时域光谱对 RDX 及 RDX 相关混合炸药进行检测的实验研究[J]. 大庆师范学院学报, 2009, 29(3): 99-101.
- [7] 石小溪, 赵国忠. 爆炸性物质的太赫兹(THz)光谱分析[J]. 现代科学仪器, 2006, (2):48-50.