

文章编号: 1006-9941(2006)04-0283-03

微波加热熔融 TNT 安全性的实验研究

左 军, 韩 超, 雍 炼

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要: 为探索微波作用于 TNT 的安全性和加热熔融 TNT 方面的潜在应用价值, 用改进的商业微波炉在防爆小室对 TNT 进行了加热试验。研究了微波输出功率、TNT 药量、装 TNT 的容器对温度-时间曲线的影响, 采用视频技术摄录了微波加热熔融 TNT 的全过程, 对微波加热前后 TNT 样品的表面化学和分子结构进行了分析。结果表明, 当 TNT 药量为 10, 50, 100 g、微波炉输出功率为 120, 240, 360 W、装 TNT 的容器分别为玻璃和塑料时, 即使加热时间长达 40 min、最大温升速率达 $66\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 、最高温度达 $146\text{ }^{\circ}\text{C}$, 微波加热前后 TNT 样品的表面化学和分子结构均未发生变化, 实验过程未出现燃烧、爆炸现象。

关键词: 物理化学; 微波加热; TNT; 安全; 炸药

中图分类号: O64; TJ55

文献标识码: A

1 引 言

微波加热技术已经在食品工业、陶瓷烧结、橡胶硫化及医药行业得到不同程度的应用, 取得了良好效果。目前加热熔融 TNT 炸药安全可靠的方式是采用蒸汽水浴加热, 但这种方法不适用于无水等特殊环境或特殊要求, 因此考虑到微波能的特点和加热效果, 探索采用微波技术对 TNT 进行加热处理就非常必要。Hayes R. W^[1]等提出了用微波从弹药中熔出炸药的技术; F. J. Murray^[2]等对叠氮化铅、斯蒂芬酸铅、硝化纤维、黑火药、B 炸药、泰安样品的微波吸收系数进行了测试, 认为在 2.5 ~ 18 GHz 范围内基本上无强烈的共振吸收峰, 低功率脉冲微波 ($\leq 1\text{ kW}\cdot\text{cm}^{-2}$) 不能起爆上述炸药; 文献[3~6]对微波作用于炸药也分别进行了报道, 但用微波炉加热熔融 TNT 炸药的安全性尚未见报道。本工作对微波加热 TNT 的安全性进行了实验研究, 为微波加热在炸药领域的应用提供了参考依据。

2 实 验

2.1 仪器与材料

EM-183MS1 型微波炉(合肥荣事达三洋公司制造, 经改造可实现隔离操作、实时测温、微波功率连续调节); 微波场测温仪; 视频摄像仪; ML-91 型微波漏能仪; CENTER-350 型红外测温仪; 95 型半导体点温计等。片状 TNT(熔点 $80.4\text{ }^{\circ}\text{C}$)。

2.2 操作步骤

① 将微波炉放入防爆室固定的工作台上; ② 连接好电源、控制器、视频摄像头、照明灯、温度检测仪之间的线缆; ③ 将准确称量的 TNT 炸药样品装入容器(分为玻璃杯和塑料杯两种)中, 然后将其放入微波炉炉腔的中部; ④ 插入温度检测探头, 使测温元件保持在物料的正中位置; ⑤ 在人员安全撤离防爆室并关闭好防爆门后, 接通电源, 然后开始试验。

3 结果与讨论

3.1 药量对 TNT 温升曲线的影响

实验条件为: 微波炉输出功率为 240 W, 片状 TNT 药量分别为 10, 50, 100 g, 其松装密度为 $0.83\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。试验结果如图 1 所示。

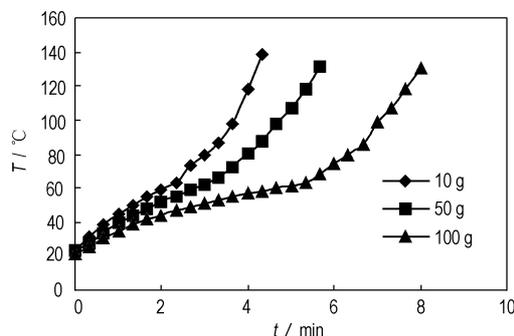


图 1 240 W 时 TNT 的温度-时间曲线

Fig. 1 Temperature vs time curves of TNT at 240 W

由图 1 可以看出, 在微波炉输出功率一定时, 随着药量的增加, TNT 温升速率降低; 当 TNT 温度小于 $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 三种药量的温升曲线(即 $T-t$ 曲线)都比较平

收稿日期: 2006-02-15; 修回日期: 2006-05-11

基金项目: 中物院化工材料研究所所长基金项目(42104030308)

作者简介: 左军(1962-), 男, 高级工程师, 主要从事含能材料成型工艺研究。e-mail: zuojunyj@163.com

滑、温升速率缓慢下降；当温度上升到 70 °C 左右时， $T-t$ 曲线出现拐点，温度开始快速升高。

3.2 微波功率对 TNT 温升曲线的影响

实验条件为：TNT 药量为 50 g，微波炉输出功率分别为 120, 240, 360 W，实验结果如图 2 所示。

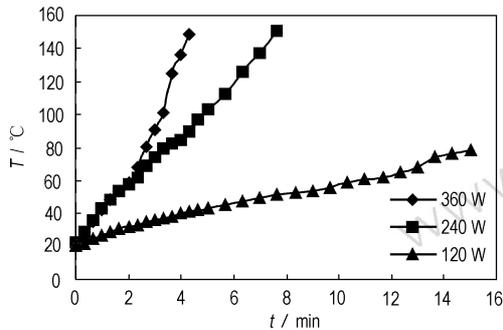


图 2 50 g TNT 不同功率的温度曲线

Fig. 2 Temperature vs time curves of 50 g TNT at different powers

由图 2 可以看出，① 当微波炉输出功率为 360 W，TNT 温度小于 70 °C 时，TNT 的温升呈直线变化，70 °C 以后曲线出现拐点，温升速率急剧增加，最高达到 $66\text{ °C} \cdot \text{min}^{-1}$ ，考虑到应用温度一般不超过 120 °C，当 TNT 温度达到 146 °C 时停止了试验；② 当微波炉输出功率为 240 W，TNT 温度小于 70 °C 时，TNT 的温升也呈直线变化，温升速率与前者相近，温度达到 70 °C 以后，曲线也出现拐点，只不过温升速率略低于前者；③ 当微波炉输出功率为 120 W 时，TNT 的温升速率比前两者低得多，温度达到 70 °C 以后，虽然曲线也出现拐点，但温升速率仅为 $3\text{ °C} \cdot \text{min}^{-1}$ 左右。

3.3 容器材料对 TNT 温升曲线的影响

实验容器分别选用了玻璃和塑料两种烧杯，实验结果如图 3 所示。

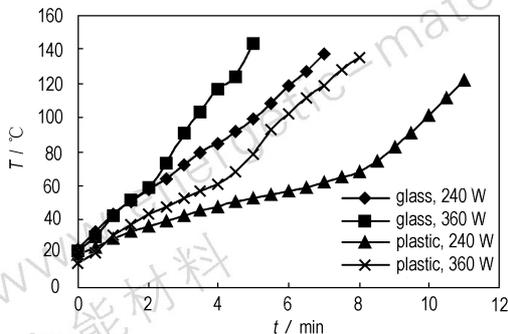


图 3 50 g TNT 在不同容器的温度-时间曲线

Fig. 3 Temperature vs time curves of 50 g TNT in different containers

由图 3 可以看出，在同等试验条件下，容器材料对

TNT 温升曲线影响非常明显。玻璃烧杯里的 TNT 温升速率大于塑料烧杯的 TNT。这是因为玻璃容器的微波透过率较塑料容器高，玻璃材料的分子偶极矩较塑料大的缘故。

3.4 微波加热熔融 TNT

本实验采用视频技术摄录了 50 g TNT 在微波炉中加热熔融过程图像，结果如图 4 所示。

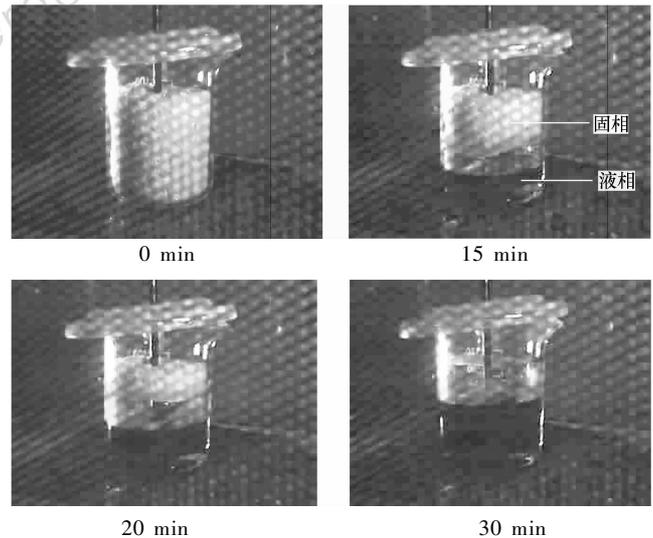


图 4 50 g TNT 在 70 ~ 100 W 时的熔化过程

Fig. 4 Melting process of 50 g TNT at 70 - 100 W

从图 4 可以看出，烧杯底部的 TNT 首先熔化，未熔化的固态 TNT 因表面熔化结块并粘在烧杯上部。由于没有搅拌，熔化过程比较缓慢，当 TNT 尚未熔化时，即 80 °C 以前，微波功率可以控制在 200 ~ 300 W；80 °C 以后，可将微波功率逐渐调整到 70 ~ 100 W。为了保证安全，将热电偶安放在接近容器底部位置，距杯底约 3 mm，以便随时监测液态 TNT 的温度。如果液态 TNT 的温度一旦快速升高 ($\geq 1\text{ °C} \cdot \text{s}^{-1}$)，便需及时调低微波功率，使 TNT 温度不超过 110 °C，以避免因温度过高而发生危险。

3.5 微波加热对 TNT 分子的影响

为考核微波加热前后 TNT 化学成分和分子结构是否发生变化，采用 FTIR 技术对未进行微波加热的 TNT-0 和经过微波加热的 TNT-1 两组样品进行了分析测试，结果如图 5 所示。由图 5 可以看出，微波加热前后 TNT 样品的硝基、甲基、苯环等特征官能团的谱图峰形和峰位完全一致，表明 TNT 分子结构和官能团没有发生变化。

3.6 微波加热对 TNT 表面状态的影响

微波加热前后的样品经过 X 射线光电子能谱仪

测试,数据见表1。

从表1的峰前(Start BE)、峰尖(Peak BE)、峰尾

(End BE)、半峰宽(FWHM)等数据看,微波加热前后 TNT 样品的表面原子状态和元素组成未发生显著变化。

表1 微波加热前后 TNT 样品各元素的 XPS 数据

Table 1 XPS data of TNT before and after microwave heating

element	start BE/eV		peak BE/eV		end BE/eV		FWHM/eV	
	TNT-0	TNT-1	TNT-0	TNT-1	TNT-0	TNT-1	TNT-0	TNT-1
C1s	288.60	291.10	285.05	285.50	279.90	281.70	2.44	2.14
O1s	536.20	537.30	532.34	533.06	528.90	529.40	2.08	2.08
N1s	408.60	409.40	405.18	405.86	402.50	398.90	1.81	1.92

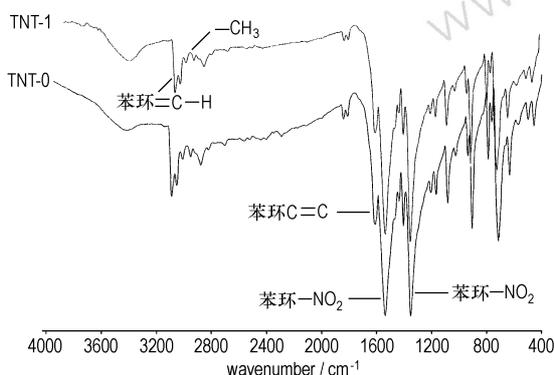


图5 微波加热前后 TNT 样品的傅立叶红外图谱

Fig. 5 FTIR spectra of TNT before & after microwave heating

3.7 讨论

微波属毫米电磁波,遇金属反射容易产生火花,人们通常以为用微波加热 TNT 炸药势必引发爆炸,而本实验结果表明,在一定条件下,可以用微波安全加热 TNT 炸药,并使之熔化。这是因为,微波的波长为 122.45 mm,而 TNT 分子中键长为 0.1 ~ 0.15 nm,单斜晶型的晶胞参数为 0.6 ~ 2.1 nm^[7],根据波干涉理论,微波不可能引起分子内共振和晶格共振。TNT 分子键能为 293 ~ 415 kJ · mol⁻¹,微波的量子能量为 2 × 10⁻²² J,微波量子能量比分子间的范德瓦耳结合能还小^[8],因此要破坏分子键是不可能的。FTIR、XPS 的对比分析结果也表明,微波加热对 TNT 分子和表面化学不会产生显著影响。如果微波加热温度超过 TNT 的爆发点则会引发爆炸;如果在微波炉里产生火花或局部热点也可能引发 TNT 爆炸。

图1、图2、图3的共性是在 TNT 熔点以下,其温度-时间呈对数曲线一样缓慢升高,在熔点以上呈指数曲线快速升高。因为固体 TNT 的松装密度 0.83 g · cm⁻³ 低于液体密度 1.45 g · cm⁻³,松装情况下有许多空隙阻碍了吸收微波和热量传递,且还存在相变,液体的微波吸收系数大于固体的微波吸收系数,

所以表现出熔点以下温升较慢,熔点以上温升较快。不同药量、不同功率实验共 10 余次,试验结果表明温升速率控制在一定范围内不会引发爆炸;当微波加热融化 TNT 的温度超过 110 °C 时,只要密切注意温升速率和功率调节,就可以防止过热发生危险。

虽然本实验药量有限,但实验结果已经表明,采用该方法加热熔融 TNT,在弹药生产中可能会有潜在应用价值,今后有必要继续深入研究。

4 结论

采用微波加热熔融 TNT,在温度上升到熔点以前,TNT 的温升曲线呈对数曲线变化,熔点之后呈指数曲线变化;液态 TNT 的微波吸收能力比固态 TNT 高;在 TNT 热分解温度以下,采用微波加热 TNT,其分子结构、化学成分不会发生变化。在微波加热 TNT 过程中,只要实时测温、控制微波功率、隔离操作,即可防止过热发生。该方法在今后弹药生产中可能具有潜在应用价值。

致谢:实验过程中得到了韩勇、鲁斌、徐涛、钟发春、郑敏霞、胥素芬等积极配合,在此向他们表示衷心感谢!

参考文献:

- [1] Hayes R W, Frandsen R O. Microwave melt out of explosives from loaded munitions[A]. JANNAF Propellant Development & Characterization Subcommittee and Safety & Environmental Protection Subcommittee Joint Meeting[C], 1998 Vol. 1, 345 - 356.
- [2] Murray F J, Moore C E, Wilczek F J. Microwave resonant absorption of potential exothermic compounds[R]. AD-A279798.
- [3] McIntosh G. Effect of 2.45 GHz microwave radiation on diverse explosives[R]. DREV Memorandum No. TM-9702, NTIS. No: MIC-98-02114/XAB.
- [4] Hasue Kazuo, Tanabe Masami, Watanabe Nobutune. Initiation of some energetic materials by microwave heating[J]. Propellants, Explos, Pyrotech, 1990, 15(5): 181 - 186.

(下转 289 页)

Study on Mechanical Isotropic of PBX

WEN Mao-ping, LI Ming, PANG Hai-yan, LI Jing-ming

(Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang 621900, China)

Abstract: The mechanical properties of two types of specimens were tested, which were sampled from different direction (transverse and longitudinal) in two PBX formed by mould pressing and isostatic pressing respectively. The experimental results show that both of tensile and compressive strength between transverse and longitudinal directions in isostatic pressing PBX are almost the same, in other words, isostatic pressing PBX is mechanically isotropic; and although compressive strength between transverse and longitudinal does not show obvious difference for mould pressing PBX, but tensile strength shows apparent difference, mould pressing PBX is anisotropic.

Key words: materials mechanics; polymer binder explosive (PBX); mechanical property; isostatic pressing; mould pressing

(上接 282 页)

Quantitative Characterization of HMX Particle Sphericity

XU Rui-juan, KANG Bin, HUANG Hui, LI Jin-shan, HUANG Heng-jian

(Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang 621900, China)

Abstract: The shapes of spherical HMX particles were studied by digital optical microscope and image manipulation technology. The sphericity of HMX particles were identified and calculated, the average sphere factors of HMX particles are 0.785, 0.816, 0.790 and 0.810, respectively. The shapes of HMX particles are quantitatively characterized through statistically calculating the sphericity of thousands of HMX particles with particle size of 280 – 400 μm and 400 – 450 μm . The results show that this method can distinguish the circularity of different HMX particles and quantitatively characterize the HMX spheroidizing effect.

Key words: analytical chemistry; HMX; shape of particle; sphericity

(上接 285 页)

[5] 王晓川, 黄辉, 聂福德. TATB 粒子表面改性研究[J]. 火炸药, 2001, 24(1): 33 – 35.

WANG Xiao-chuan, HUANG Hui, NIE Fu-de. The investigation of surface modification of TATB particle[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2001, 24(1): 33 – 35.

[6] 郁卫飞, 曾贵玉, 聂福德, 等. 两种炸药的微波干燥[J]. 含能材料, 2004, 12(2): 101 – 103.

YU Wei-fei, ZENG Gui-yu, NIE Fu-de, et al. Microwave desiccation of TATB and RDX[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2004, 12(2): 101 – 103.

[7] 董海山, 周芬芬. 高能炸药及相关物性能[M]. 北京: 科学出版社, 1989.

[8] 金钦汉, 戴树珊, 黄卡玛. 微波化学[M]. 北京: 科学出版社, 1999.

Safety of Heating TNT in Microwave Oven

ZUO Jun, HAN Chao, YONG Lian

(Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang 621900, China)

Abstract: The tests for understanding safety and potential application of melting TNT by microwave heating were carried out in the anti-explosion room by the commercial microwave oven with output power of 0 ~ 600 W, which was improved for safety performances. The effect of output power, loading capacity of TNT and container on temperature-time curves were studied. The process for melting TNT were recorded. The surface chemistry and the molecular structure of TNT samples before and after microwave heating were analyzed. The results show that the surface and the structure of TNT do not change after microwave heating when microwave power is 120, 240, 360 W; loading capacity of TNT is 10, 50, 100 g; container is of glass or plastic; heating time is 40 min; the maximum heating velocity is 66 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$; the maximum heating temperature is 146 $^{\circ}\text{C}$, respectively. Furthermore, combustion or explosion does not occur in the tests.

Key words: physical chemistry; microwave heating; TNT; safety; explosive