

文章编号:1006-9941(2019)03-0184-06

相变与微裂纹对 HMX 晶体高温下撞击感度的影响机制

文玉史^{1,2},文雯¹,代晓淦¹,温茂萍¹,龙新平²,郑雪¹,姚奎光¹,何松伟¹,李明¹

(1. 中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621999; 2. 中国工程物理研究院, 四川 绵阳 621999)

摘要: 为了研究高温下炸药撞击安全性中存在的多因素耦合问题,设计了高温炸药撞击感度试验装置,并建立了高温炸药撞击感度试验方法。结合扫描电镜和 X 射线衍射技术,采用所建立的试验方法,研究了奥克托今(HMX)晶体颗粒高温撞击过程下的响应。结果表明,随着温度升高,HMX 晶体颗粒的落锤撞击感度逐渐升高。同时,HMX 晶体品质随着温度升高逐渐变差,140 °C 时有少部分晶体碎裂,180 °C 时较多的晶体碎裂,当达到 200 °C 时,HMX 晶体全部碎裂;HMX 的 $\beta \rightarrow \delta$ 相变发生在 184~186 °C。降至常温后 δ 相晶体逐渐恢复为 β 相,撞击过程有助于 β 相的恢复。影响热加载前后 HMX 晶体颗粒撞击感度的主导因素包括温升、微裂纹和相变,不同影响因素起作用的温度段是不同的。

关键词: 高温撞击感度;相变;裂纹;奥克托今(HMX)晶体

中图分类号: TJ55; TQ560

文献标志码: A

DOI:10.11943/CJEM2018116

1 引言

炸药材料在生产及服役过程中,可能会遇到火灾、地震,实验室操作失误、战场作战环境等一些特殊场景,炸药可能暴露在高温和低强度撞击耦合作用下^[1]。为评估此类环境中炸药的安全性,需要开展高温下的撞击安全性研究。

在试验方法方面,高温下炸药撞击响应研究刚刚起步,国内外的相关研究都还比较少。西安近代化学研究所采用大落锤加载装置研究了压装梯恩梯(TNT)在热和撞击复合加载下的点火性能,探讨了加热至 50 °C 时温度对(TNT)点火性能的影响^[2];中国工程物理研究院化工材料研究所采用模拟破片撞击的方式初步研究了加热前后 PBX-2 炸药的响应特性^[3-4]。在机

理研究方面,高温下炸药撞击安全性的影响因素或机制非常复杂,包括密度变化、力学性能、温度、相变及微裂纹等等。国外研究分析了升温下炸药热膨胀性能以及密度、动态力学性能等变化^[5-8],发现随着炸药高温膨胀,高聚物粘结炸药(polymer bonded explosive, PBX)的压缩强度和弹性模量随温度的增加而降低。Hsu 等^[9]研究了 LX-04、LX-07 等混合炸药的高温热损伤行为,发现随着温度升高,炸药孔隙率升高、密度降低,导致损伤炸药的模量降低、气体渗透性增大,这增加了炸药点火后成长为高等级反应的风险。

对于如六硝基六氮杂异伍兹烷(CL-20)、奥克托今(HMX)等具有多种晶相的炸药,其高温相变及热损伤更是影响炸药高温撞击感度的重要原因。HMX 作为目前综合性能最好的单质炸药,其晶体存在 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 四种晶相^[10],普遍认为常温下 β 相最稳定,而 δ 相最不稳定,研究发现,当温度升高到 180 °C 以上时, β -HMX 会向 δ -HMX 转变^[11],相变时,会导致体积膨胀、密度降低,严重影响其安全性能^[12]。因此,研究 HMX $\beta \rightarrow \delta$ 相变机理有助于加深对 HMX 热安全性的理解,但相变和裂纹对安全性的劣化作用是耦合在一起的,关于其各自作用过的解耦和量化区分尚未见相关报道。HMX 发生相变后,随着温度的降低,相变会逐渐恢复,而由相变产生的微结构是不可逆的,这为研

收稿日期:2018-05-05;修回日期:2018-07-30

网络出版日期:2018-12-19

基金项目:中国工程物理研究院科学与技术发展基金(2015B0101001),国家自然科学基金(11372292,11702266,51703211),中国工程物理研究院双百人才基金

作者简介:文玉史(1983-),男,副研究员,主要从事炸药安全性研究。e-mail:wenys@caep.cn

通信联系人:代晓淦(1978-),男,副研究员,主要从事炸药安全性研究。e-mail:zhangy2005767@sina.com

引用本文:文玉史,文雯,代晓淦,等.相变与微裂纹对 HMX 晶体高温下撞击感度的影响机制[J].含能材料,2019,27(3):184-189.

WEN Yu-shi, WEN Wen, DAI Xiao-gan, et al. Influence Mechanism of Phase Transition and Micro Cracks on Impact Sensitivity of HMX Crystal at High Temperature[J]. Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao), 2019, 27(3):184-189.

究两者的作用机制和区别提供了机会。此外,虽然可以确定 HMX 高温相变对炸药的反应烈度具有显著影响,但相变与点火阈值的关系尚未清楚。总体来讲,由于高温相变与撞击加载耦合作用在实验手段上比较困难,耦合作用机制复杂,具有较大的不确定性,目前关于 HMX 高温相变对撞击安全性变化的影响规律尚缺乏系统性的研究与认识。

为此,本研究基于上述对高温下炸药性能变化、高温相变、高温下炸药撞击响应等研究现状和需求分析,以 HMX 晶体颗粒为对象,设计并建立了高温炸药撞击感度试验装置和方法,结合炸药受热损伤表征以及高温相变过程诊断,对高温下 HMX 晶体撞击响应变化规律及其影响机制进行了研究,提出了相应的机制解释

2 试验装置与研究方法

2.1 试验装置

为了研究高温下 HMX 晶体撞击感度变化规律,设计了一种可测试不同温度条件下炸药晶体撞击感度的试验装置(简称高温炸药撞击感度试验装置),装置如图 1 所示,包括底座、击套、击柱、加热带等部件,实物照片见图 2。底座上设置有击套,击套的中心设置有下击柱和上击柱,上击柱与下击柱之间放置炸药样品颗粒,击套的一侧留有测温孔,底座的外周围安装有加热带,试验装置上方设置有落锤。试验时通过加热带对底座加热,进而通过热传导对炸药颗粒进行加热,采用 K 型热电偶测量测温孔温度,当加热达到预定温度时,释放落锤撞击上击柱,实现撞击加载。

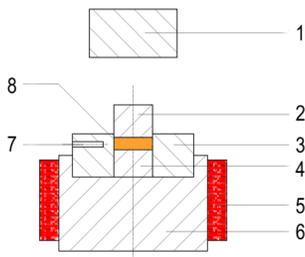


图 1 高温炸药撞击感度试验装置示意图

1—落锤, 2—上击柱, 3—击套, 4—下击柱, 5—加热带, 6—底座, 7—测温孔, 8—炸药颗粒

Fig.1 Schematic diagram of impact sensitivity testing installation of explosive at high temperature

1—drop hammer, 2—up pillar, 3—sheath, 4—down pillar, 5—heating band, 6—base, 7—hole for temperature testing, 8—HMX particle



图 2 高温炸药撞击感度试验装置照片

Fig.2 Picture of impact sensitivity testing installation of explosive at high temperature

2.2 研究方法

研究对象为经过重结晶的 β -HMX 晶体,平均颗粒度 $27 \mu\text{m}$,纯度大于 99.5%,由化工材料研究所提供。采用 WL-1 型标准落锤仪,采用 2.5 kg 落锤,使用国军标 GJB 772A-1997 规定的上下法^[13]测试了不同高温下 HMX 晶体颗粒的特性落高 H_{50} 。试验时空气湿度为 60%RH,温度为 $25 \text{ }^\circ\text{C}$,每发试验药量 35 mg。控制装配一致性和温湿度条件,试验误差控制小于 2%。采用与文献[14]相同的条件,通过 X 射线衍射方法(X-ray diffraction, XRD),结合扫描电子显微镜(scanning electron microscope, SEM),获得不同温度下 HMX 的晶型情况及晶体微裂纹状态。根据以上信息分析加热后 HMX 相变及降温后相变恢复情况,分析温度、相变及裂纹对 H_{50} 的影响。

为了精确控制炸药样品的温度,需要对比加热过程中装置测温孔温度与样品温度之间的差异,因此,正式试验前,采用热电偶同时测试了装置测温孔温度与样品温度,对加热过程中装置测温孔内温度与样品实际温度进行标定,结果如图 3 所示。正式试验时,依据图 3 可由装置测温孔内温度得出样品实际温度。

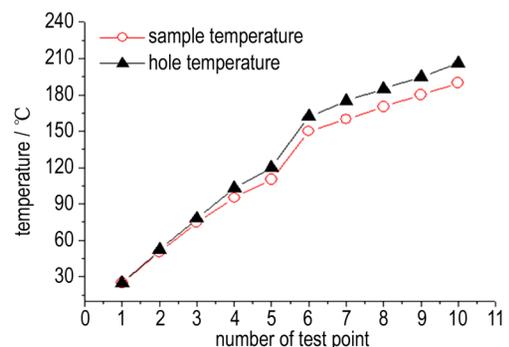


图 3 标定的加热过程中装置测温孔内温度与样品实际温度

Fig.3 The temperature in measuring hole of the device and actual sample temperature obtained during heating process for calibration

按照上述方法测试下述三种情况 β -HMX晶体的撞击感度:(1)常温、加热条件下;(2)加热至190℃,冷却至常温;(3)加热190℃,冷却至常温再放置40天。

3 结果与讨论

3.1 热处理后 β -HMX晶体形貌SEM图像

为了研究不同高温对HMX晶体颗粒造成的热损伤效应,以 $3\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 的升温速率,分别将HMX晶体加热到30,100,140,180,190,200℃,保温5min后,降温到室温,再进行电子显微镜扫描成像。经不同高温处理后的HMX单质晶体形貌如图4所示。

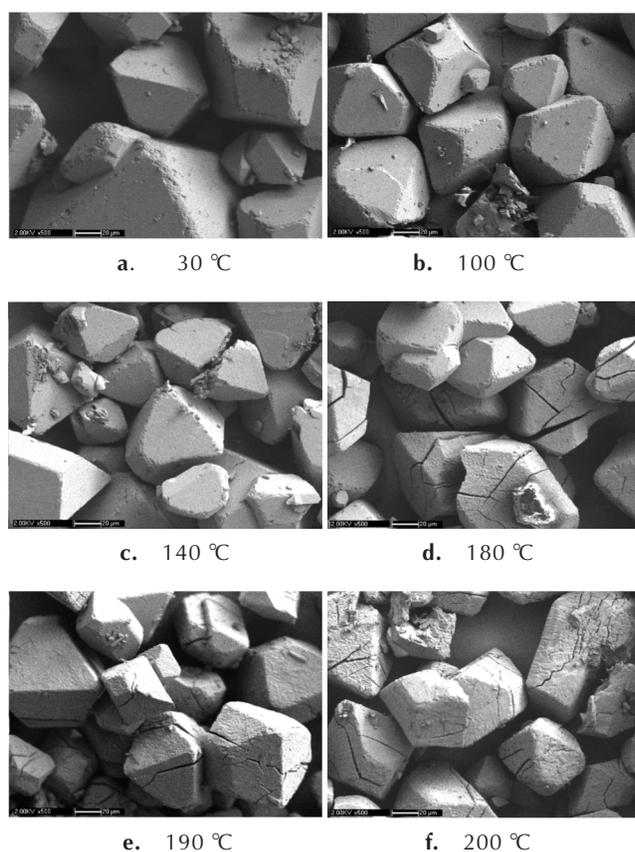


图4 不同高温处理后HMX晶体的形貌

Fig.4 Morphology of HMX crystals after treatment at various temperatures

从图4可以看出,随着温度的升高,HMX晶体品质变差,140℃时有少部分晶体碎裂,180℃时较多的晶体碎裂,未破碎晶体也存在明显的裂纹,温度继续升高,发生碎裂的HMX晶体进一步增多,这主要是由于HMX晶体发生了 $\beta\rightarrow\delta$ 晶相转变^[15],对于HMX晶体,180℃以上时发生相变,缺陷增大,晶体破裂,导致HMX的表面积将增大 $10^3\sim 10^5$ 倍;当达到200℃时,

HMX晶体全部碎裂,已经没有完整大块的晶体存在。

3.2 试验样品及残留物晶型转变XRD分析结果

HMX的热相变问题比较复杂,例如与粒度有关^[16]。不同温度下平均粒径 $27\text{ }\mu\text{m}$ 的HMX晶体颗粒的XRD结果如图5所示。由图5可见,184℃和186℃的衍射曲线存在明显的差异,两种曲线存在不同的衍射峰,说明相变温度发生在184~186℃。与HMX标准谱图对比发现,该相变是 $\beta\rightarrow\delta$ 相变。其他温度没有发现明显的波峰差异,因而未发现其他形式的相变。

对加热至190℃的 β -HMX,降温到常温,立即进行XRD测试,结果如图6a所示。由图6a可以看出,测

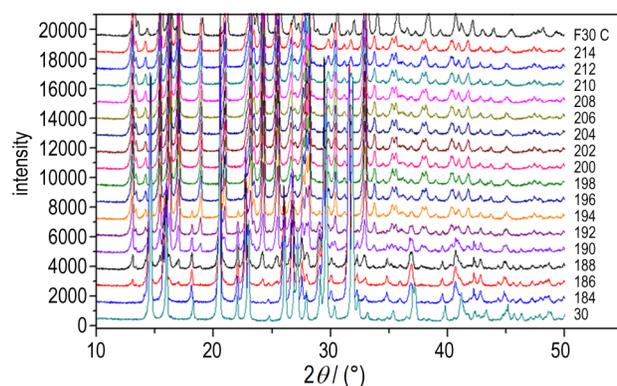


图5 不同温度下HMX晶体颗粒的XRD图谱

Fig.5 XRD patterns of HMX crystal particles at different temperatures

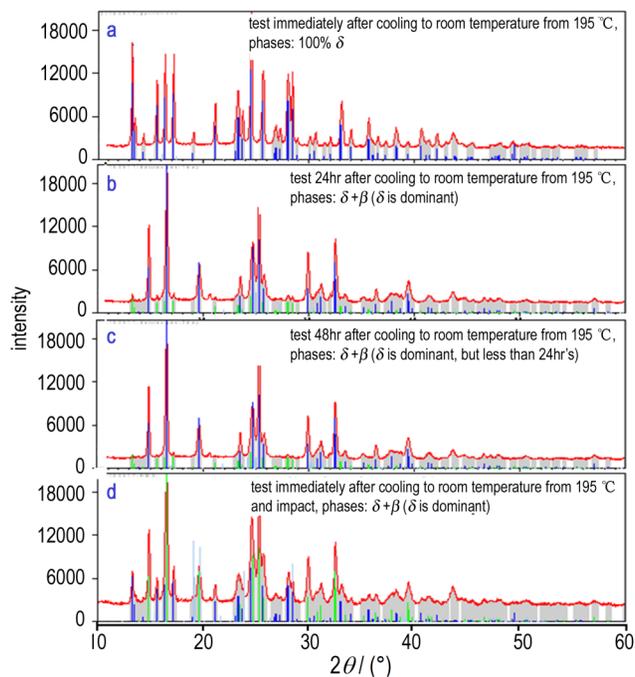


图6 不同温度下HMX晶体颗粒相变的XRD谱分析

Fig.6 XRD pattern analysis of the phase transition of HMX crystal particles at different temperatures

定晶型后发现晶体已经完全转变为 δ 相。等待 24 h 及 48 h 后重新测量,晶型主要依然保持为 δ 相,有少量 δ 相转化为了 β 相,分别见图 6b 及图 6c。降温到常温后 $\delta \rightarrow \beta$ 晶型转化程度和时间有关^[17],时间越长,转化率越高,即 48 h 含有的 δ 相比 24 h 时含有的要少一些。

对样品 β -HMX,加热至 190 °C,保温 0.5 h,降温到常温,开展撞击试验,对未反应样品进行 XRD 测试。测定晶型后发现晶体转变为 β 和 δ 的混合相,如图 6d 所示,可见撞击过程有助于 $\delta \rightarrow \beta$ 晶体转变的发生,这

表 1 不同温度下 HMX 晶体颗粒特性落高测量结果

Table 1 Measured results of the characteristic drop height (H_{50}) of HMX crystal particles at different temperatures

No.	temperature / °C	H_{50} / cm	crystal phase	H_{50} variation to normal temperature / %	main mechanism
1	25	40.6	β	0	-
2	65	31.0	β	-23.6	T ¹⁾
3	170	16.8	β	-58.6	T+cracks
4	180	14.5	β	-64.2	T+cracks
5	190	13.1	δ	-67.7	T+cracks+PT ²⁾
6	190→25	15.7	δ	-61.3	cracks+PT
7	190→25, kept for 40 days before test	25.1	β	-38.2	cracks

Note: 1)T is the temperature rise. 2)PT is the phase transition.

根据表 1,总体上看,随着温度从常温逐渐上升到 190 °C,HMX 的 H_{50} 逐渐降低,即随着温度的升高 HMX 撞击感度逐渐增加。从 190 °C 降到常温后,随着时间的延长,HMX 的 H_{50} 逐渐升高,这伴随着晶型转变的逐渐恢复,即 β 相含量越来越高,HMX 撞击感度降低。根据图 4 以及图 5 的 XRD 结果,此时 HMX 没有产生相变和微裂纹,导致 HMX 撞击感度显著上升的主控因素为温升。根据图 5 的 XRD 结果可知此时 HMX 是 β 相,从图 4 可以看出,此时晶体已有少量裂纹,此时导致高温下 HMX 撞击感度显著上升的主控机制为温升和微裂纹的产生。在 190 °C 时 HMX 的 H_{50} 为本次试验结果最低值 13.1 cm,此时导致高温下 H_{50} 显著降低的因素有三个,即温升、微裂纹和相变。由此可见,不同温度段影响 HMX 撞击感度的因素不同,在常温~140 °C,相变还未发生,裂纹也没有出现,此时温升是撞击感度变化的主控因素;在 140~180 °C,裂纹逐渐增多,相变未发生,但撞击感度随温度的变化出现明显拐点(如表 1 所示),此时裂纹是撞击感度变化的主控因素;在 180~190 °C,微裂纹、相变是撞击感度变化的主控因素。

根据表 1 还可以看出,影响撞击感度的主导因素越多,带来的撞击感度变化量越大,各种因素带来的撞

击感度变化大体上具有可累加性。

3.3 HMX 晶体高温撞击感度试验结果

HMX 晶体高温撞击感度试验测量结果见表 1,包括不同温度环境下 HMX 晶体颗粒特性落高测量结果、试验条件、晶型情况、裂纹情况等,其中试验升温速率 3 °C·min⁻¹,晶型状态见参考文献[10,14,17-20]及图 6。表 1 中的第 6 号及第 7 号试验对应加热至 190 °C 并自然冷却至常温的试验。不同温度下 HMX 晶体颗粒特性落高变化趋势见表 1。

击感度变化大体上具有可累加性。

此外,为了比较 HMX 相变和微结构对撞击感度影响的相对大小,对 1 号试验、6 号试验和 7 号试验进行了对比分析。7 号试验(根据 Michael 的研究^[21],此时 HMX 已经完全恢复 β 相)的 H_{50} 为 25.1 cm,即常温下晶体碎裂导致的 H_{50} 比常温下初始状态的 H_{50} 降低了 15.5 cm,约 38.2%。6 号试验和 7 号试验结果则显示,在常温及有裂纹的状态下, δ 相 H_{50} 相比 β 相降低了 9.4 cm,约 37.4%。通过分析可发现在本试验条件下,HMX 晶体 $\beta \rightarrow \delta$ 相变和微裂纹对撞击感度影响基本相当。

4 结论

针对目前高温下撞击安全性研究中存在的多因素耦合问题,设计了高温炸药撞击感度试验装置,并提出了相应的试验方法,实现了温度与撞击耦合加载,试验温度范围最高可达 200 °C。利用建立的装置和方法,对高温下影响炸药晶体撞击安全性的主要因素进行了研究,得到了以下几点结论:

(1)扫描电镜技术测量结果显示,随着温度的升高 HMX 晶体品质变差,140 °C 时有少部分晶体碎裂,

180 °C时较多的晶体碎裂,当达到200 °C时,HMX晶体全部碎裂,已经没有完整大块的晶体存在。以上热损伤带来的裂纹对HMX撞击感度具有显著影响。X射线衍射技术测量结果显示,试验使用的平均粒径27 μm HMX的 $\beta \rightarrow \delta$ 相变温度发生在184~186 °C。 β -HMX加热到190 °C再降温到常温,完全转变为 δ 相的HMX会逐渐恢复 β 相。此时撞击过程有助于 $\delta \rightarrow \beta$ 晶体转变的发生。

(2)热加载前后影响HMX晶体颗粒撞击感度的主导因素主要包括温升、微裂纹和相变,而不同影响因素起作用温度段不同。在25~140 °C时温升是影响撞击感度变化的主控因素,在140~180 °C时裂纹与温度共同影响撞击感度的变化,其中裂纹是主控因素。而在180~190 °C高温段,裂纹、温度以及相变都影响着撞击感度的变化,其中相变为主控因素。

本工作建立的装置和方法,能有效用于研究不同温度下炸药的撞击感度变化。研究结果可以为其它炸药高温下晶体颗粒撞击感度的相关研究提供一定参考。

参考文献:

- [1] DAI Xiao-gan, WEN Yu-shi, HUANG Hui, et al. Impact response characteristics of a cyclotetramethylene tetranitramine based polymer-bonded explosives under different temperatures [J]. *J Appl Phys*, 2013, 114: 114906.
- [2] 肖玮,李亮亮,苏健军,等. TNT在热和撞击加载作用下的点火性能[J]. *火炸药学报*, 2013, 36(2):38-41.
XIAO Wei, LI Liang-liang, SU Jian-jun, et al. Ignition performances of TNT under temperature and impact loading actions [J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2013, 36(2): 38-41.
- [3] 代晓淦,文玉史,申春迎,等. 热和枪击复合环境试验中PBX-2炸药的响应特性[J]. *火炸药学报*, 2009, 32(4): 41-44.
DAI Xiao-gan, WEN Yu-shi, SHEN Chun-ying, et al. Reaction characteristics of PBX-2 under heat and bullet impacting multiple test [J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2009, 32(4): 41-44.
- [4] 吴博,代晓淦,文玉史,等. 加热前后PBX-2炸药的撞击响应[J]. *火炸药学报*, 2011, 34(4):34-36.
WU Bo, DAI Xiao-gan, WEN Yu-shi, et al. Impact response of unheated and heated PBX-2 explosive [J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2011, 34(4):34-36.
- [5] Urtiew P A, Tarver C M, Maienschein J L, et al. Effect of confinement and thermal cycling on the shock initiation of LX-17 [J]. *Combustion and Flame* 1996, 105: 43-53.
- [6] Urtiew P A, Tarver C M, Forbes J W, et al. Shock sensitivity of LX-04 at elevated temperatures[C]//Shock Compression of Condensed Matter-1997, AIP Conference Proc. 429, Amherst, MA, 2000: 727-730.
- [7] Forbes J W, Tarve C M. The effect of confinement and temperature on the shock sensitivity of solid explosives[C]//11th International Detonation Symposium. Snow-mass,1998:145-152.
- [8] David J F, Gary W L, Paul D P, et al. Measurement of the stress/strain response of energetic materials as a function of strain rate and temperature: PBX 9501 and Mock 9501 [C]//In Shock Compression of Condensed Matter-1997, AIP Conference Proceedings429, New York, 1998: 583-586.
- [9] Hsu P C, Dehaven M, McClelland M, et al. Characterization of damaged materials[C]//13th International Detonation Symposium. 2006: 284-292.
- [10] Herrmann M, Engel W, Eisenreich N. Thermal analysis of the phases of HMX using X-ray diffraction[J]. *Zeitschrift für Kristallographie*. 1993, 204(Part-1): 121-128.
- [11] DAI Xiaogan, XU Jinjiang, WEN Yushi, et al. Delay mechanism of $\beta \rightarrow \delta$ phase transition of cyclotetramethylene tetranitramine in polymer bonded explosive formulations by heat conduction obstacle [J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2016, 41: 637-640.
- [12] DAI Xiaogan, WEN Yushi, WEN Miaoping, et al. Projectile impact ignition and reaction violent mechanism for HMX-based polymer bonded explosives at high temperature [J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2017, 42: 799-808.
- [13] 中国兵器工业总公司. GJB 772A-1997: 炸药试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.
China North Industries Group Corporation. GJB 772A-1997: Explosive test method [S]. Beijing: China Standard Press, 1997.
- [14] XUE Chao, SUN Jie, KANG Bin, et al. The $\beta \rightarrow \delta$ phase transition and thermal expansion of octahydro-1, 3, 5, 7-tetranitro-1, 3, 5, 7-tetrazocine [J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*. 2010, 35: 333-338.
- [15] Weese R K, Maienschein J L, Perrino C T. Kinetics of the $\beta \rightarrow \delta$ solid-solid phase transitions of HMX, octahydro-1, 3, 5, 7-tetranitro-1, 3, 5, 7-tetrazocine [J]. *Thermochimica Acta*, 2003, 401: 7-14.
- [16] Cheng K S. Kinetics of HMX and phase transitions: effects of grain size at elevated temperature[C]//12th International Detonation Symposium, San Diego, California 92101, August 11-16th, 2002.
- [17] Michael H, Walter E, Norbert E. Thermal expansion, transitions, sensitivities and burning rates of HMX [J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 1992, 27: 190-195.
- [18] Smilowitz L, Henson B F, Asay B W, et al. A model of the $\beta \rightarrow \delta$ phase transition in PBX9501[C]//Shock Compression of Condensed Matter, 2001: 1077-1080.
- [19] 薛超,孙杰,宋功保,等. HMX的 $\beta \rightarrow \delta$ 晶型转变研究进展, 含能材料, 2008, 16(6):753-757.
XUE Chao, SUN Jie, SONG Gong-bao, et al. Review on $\beta \rightarrow \delta$ phase transition of HMX [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2008, 16(6): 753-757.
- [20] 徐文峥, 庞兆迎, 王晶禹, 等. 超声辅助喷雾法制备超细高品质HMX及其晶型控制[J]. 含能材料, 2018, 26(3): 260-266.
XU Wen-zheng, PANG Zhao-ying, WANG Jing-yu, et al. Ultrafine high quality HMX prepared by ultrasonic assisted spray method and its crystal type control [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2018, 26(3): 260-266.
- [21] Smilowitz L, Henson B F, Asay B W, et al. The $\beta \rightarrow \delta$ phase transition in the energetic nitroamine: octahydro-1, 3, 5, 7-tetranitro-1, 3, 5, 7-tetrazocine: Kinetics [J]. *J Chem Phys*, 2002, 117: 3789-3797.

Influence Mechanism of Phase Transition and Micro Cracks on Impact Sensitivity of HMX Crystal at High Temperature

WEN Yu-shi^{1,2}, WEN Wen¹, DAI Xiao-gan¹, WEN Mao-ping¹, LONG Xin-ping², ZHENG Xue¹, YAO Kui-guang¹, HE Song-wei¹, LI Ming¹

(1. Institute of Chemical Materials, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621999, China; 2. China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621999, China)

Abstract: To study the multi-factor coupling problem existed in the impact safety of explosive at high temperature, an impact sensitivity testing installation of explosive at high temperature was designed and an impact sensitivity testing method at high temperature was proposed. Combined with the scanning electron microscopy and X-ray diffraction techniques, the response of octogen (HMX) crystal particles under impact process at high temperature was studied by the established test method. Results show that with the increase of temperature, the drop hammer impact sensitivity of HMX crystal particles increases gradually. Meanwhile, the quality of HMX crystal is gradually reduced as temperature increasing. At 140 °C, a small number of crystals are fragmented, and more crystals are fragmented at 180 °C. When temperature reaches 200 °C, all HMX crystals are fragmented. The $\beta \rightarrow \delta$ phase transition temperature of HMX occurs between 184 °C and 186 °C. After the temperature is reduced to room temperature, δ phase crystal gradually returns to β phase, and the impact process is helpful to the recovery of β phase. The main factors affecting the impact sensitivity of HMX crystal particles before and after thermal loading include temperature increasing, micro cracks and phase transition. The temperature range acted by different influence factors is different.

Key words: high temperature impact sensitivity; phase transition; micro crack; octogen (HMX) crystal

CLC number: TJ55; TQ560

Document code: A

DOI: 10.11943/CJEM2018116

(责编 王艳秀)



《含能材料》“含能共晶”征稿

含能共晶是不同含能分子通过氢键等相互作用力形成的具有稳定结构和性能分子晶体。含能共晶充分组合了单质含能分子的优点,呈现出感度低,综合性能优良的特点,具有潜在的应用前景,共晶研究已经引起国内外含能材料学界的高度关注。为推动含能共晶的研究和交流,本刊特推出“含能共晶”专栏,主要征稿范围包括含能共晶晶体设计与性能预测、含能共晶的制备、结构解析、性能等。来稿请注明“含能共晶”专栏。

《含能材料》编辑部