

文章编号:1006-9941(2021)05-0399-07

TATB基PBX及其与HNS复合装药的高速破片撞击安全性

文雯,王淑娟,代晓淦,柴传国,向永,黄谦,文玉史,李明

(中国工程物理研究院化工材料研究所,四川绵阳621999)

摘要: 为了获得高速破片撞击下钝感装药的安全性响应规律及传爆药非理想起爆对该过程的影响,采用高速破片撞击试验方法,对TATB基PBX装药(PBX-C04)和PBX-C04/HNS复合装药结构进行了试验研究。基于超压测试、鉴证板破坏情况和残药的理化分析,分析了撞击速度、传爆药非理想起爆及高温对PBX-C04钝感主装药高速破片撞击安全性的影响。结果表明,常温下PBX-C04主装药具有优异的高速撞击安全性,1970 m·s⁻¹的高速破片撞击下仅发生燃烧反应,引入六硝基芪(HNS)传爆药后,相同撞击速度下PBX-C04主装药反应烈度提高为爆燃反应。复合装药结构加热至200℃时,1640 m·s⁻¹撞击速度下,复合装药结构发生了爆轰反应,证明高温可急剧恶化复合装药结构的高速撞击安全性。

关键词: 钝感炸药;复合装药结构;高速破片撞击;安全性评估;XPS

中图分类号: TJ55

文献标志码: A

DOI: 10.11943/CJEM2020163

1 引言

近年来,随着武器弹药使用环境的日益苛刻和高价值武器弹药在战场上的大量应用,对武器弹药在战场上生存能力提出了越来越高的要求。高速破片是最常见的战场威胁,其对弹药安全性的影响得到了广泛关注和研究。美国、北约的弹药安全性考核测试项目中^[1-2],均包含了破片撞击试验。A. R. Gushanov等^[3]通过破片撞击炸药实验,提出了撞击起爆模型,并嵌入自主研发的LEGAK-3D程序进行了数值模拟。屈可朋等^[4]获得了不同撞击速度下带壳装药的反应情况及破片的和护板的破坏形态。孙宝平等^[5-6]开展了破片撞击不同状态(无损、损伤)装药的点火、起爆数值模拟研究。但目前弹药高速破片撞击安全性的研究大都局限于仅考虑主装药受到高速破片撞击的单一威胁,而没有考虑敏感药剂(如传爆药等)被高速破片击中而发

生非理想起爆,进而影响主装药安全性的可能,同时战场常见的火灾等高温环境也将进一步加剧这一威胁^[7]。

PBX-C04炸药是一种以TATB为基的钝感高聚物黏结炸药(PBX),具有极好的安全性能,对机械刺激、冲击波及热刺激皆不敏感^[8-13],在常规的落锤撞击、滑道试验中难以发生反应。在子弹口径12.7 mm、子弹速度850 m·s⁻¹的枪击试验中,TATB基PBX炸药通常仅发生燃烧反应。炸药钝感化技术在一定程度上提升了传爆药在常规机械刺激下的安全性^[14-18]但其面对高速破片撞击的安全性及其对主装药的影响尚无研究。

本研究针对TATB基PBX-C04炸药及其与六硝基芪(HNS)复合装药结构,设计并开展了高速撞击安全性试验研究,通过超压测试、鉴证板破坏情况和残药的理化分析,研究高速破片撞击下钝感主装药的安全性响应规律及传爆药非理想起爆对钝感主装药安全性的影响。

2 试验部分

2.1 试验装置及加载装置

PBX-C04及其复合装药结构(PBX-C04/HNS)高速撞击试验装置如图1所示,装药试验装置装配示意图如图2所示。主装药为PBX-C04,尺寸为 $\Phi 50\text{ mm}\times 50\text{ mm}$ 。传

收稿日期:2020-07-01;修回日期:2020-08-17

网络出版日期:2021-01-26

基金项目:国家自然科学基金资助(11902301)

作者简介:文雯(1985-),女,工程师,主要从事含能材料安全性研究。e-mail:wenw@caep.cn

通信联系人:文玉史(1981-),男,副研究员,主要从事含能材料安全性研究。e-mail:wenys@caep.cn

引用本文:文雯,王淑娟,代晓淦,等. TATB基PBX及其与HNS复合装药的高速破片撞击安全性[J]. 含能材料, 2021, 29(5):399-405.

WEN Wen, WANG Shu-juan, DAI Xiao-gan, et al. High-speed Impact Safety Properties the Tatb-based Plastic-bonded Explosive and Its HNS Compound Charge Influence[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2021, 29(5):399-405.

爆药为HNS,尺寸为 $\Phi 20\text{ mm}\times 5\text{ mm}$,复合装药装配时将传爆药镶嵌在主装药顶部中心处,主装药和传爆药均由中国工程物理研究院化工材料研究所提供。试验装置材料为Q235钢(屈服强度为235 MPa),壳体壁厚和底部厚度均为4 mm,弹丸撞击面盖板厚3.5 mm。壳体和盖板之间采用4颗螺钉连接固定在一起。

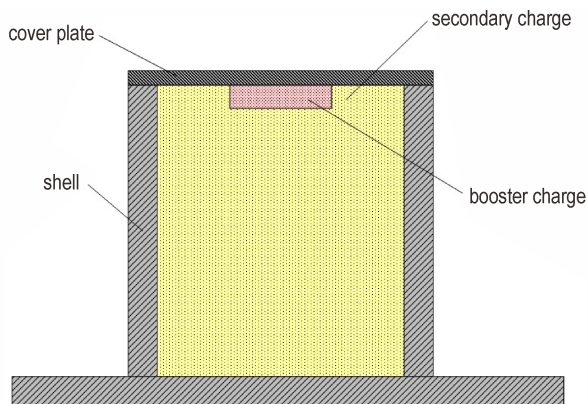
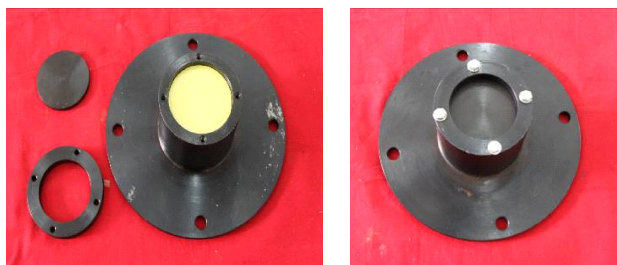


图1 PBX-C04及其复合装药结构高速撞击试验装置图

Fig.1 Diagram of PBX-C04 and its compound structure assembly



a. Load the secondary charge

b. Cover and fix



c. Pre-test photo

图2 试验装置装配过程照片

Fig.2 Photos of assembly states of test devices with PBX-C04 a) decomposition states loaded with PBX-C04; b) assembled test device; c) photo of test device assembled with support

破片加载装置采用自主设计的高速破片发射装置(HSG25-1800型)^[19],装置炮管长约4 m,破片速度可根据火药量进行调控,最高速度可达 $2000\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。破

片结构设计参考美军标MIL-STD-2105D破片撞击试验要求,破片尺寸为 $\Phi 14.3\text{ mm}\times 15.6\text{ mm}$ 的类圆柱体,头部锥角为 120° ,材料为T10低碳钢,质量约为18.6 g。高速破片发射装置和破片结构见图3和图4。

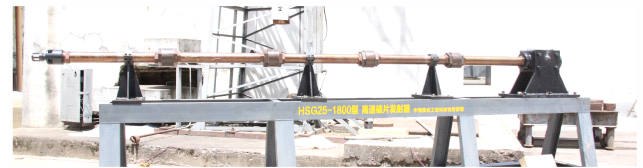


图3 高速破片发射装置图

Fig.3 Photo of high-speed-fragment launcher

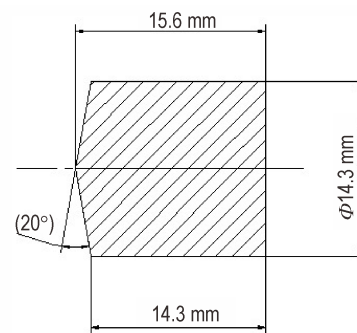


图4 破片结构尺寸图

Fig.4 Schematic diagram of fragment dimensions

2.2 高速破片撞击试验

高速破片撞击试验平面布局图如图5所示。采用高速破片发射装置将破片加速到预定试验速度,使其撞击到装药结构件,通过冲击波超压、高速摄影、鉴证板破坏情况和剩余残药的理化分析,综合分析高速破片撞击下的装药安全性响应。其中,自由场超压传感器布置在距离PBX-C04装药(或复合装药结构)盖板端面中心2 m处,并分别沿弹丸飞行弹道轴线呈 20° 和 38° 分别对称布置4支传感器。在垂直于弹丸弹道的水平方向布置高速摄影,用于记录破片的飞行速度、姿态以及撞击后样品的反应过程。鉴证板放置于PBX-C04装药(或复合装药结构)与靶基之间。

PBX-C04(或其复合装药结构)的高速破片撞击试验分为常温(25°C)和高温(200°C)两种状态。其中对于高温复合装药结构的高速破片撞击试验,采用先加热,后撞击的方法,即先采用环形电阻丝式加热带将试验件加热到 200°C 并保温10 min后,再开展高速破片撞击试验。加热带功率600W,可实现 $3\sim 20^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 加热速率。具体的试验件装药状态、试验温度及破片速度列表如表1所示。

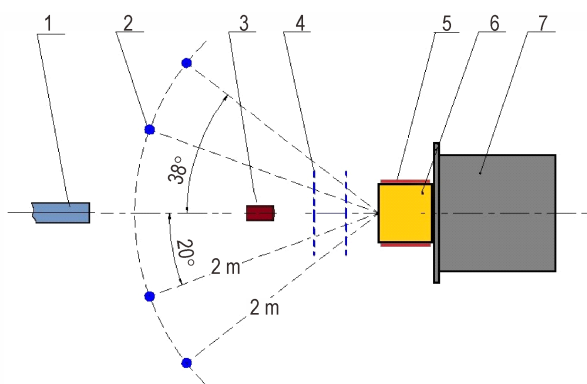


图5 高速破片撞击试验俯视平面布局图

1—发射装置, 2—空气冲击波超压传感器, 3—撞击破片, 4—测速区间, 5—电阻丝式环形加热带, 6—被试试件, 7—靶基

Fig.5 Bird's eye view of experimental configuration of high-speed fragment impact test

1—launching equipment, 2—sensors of air overpressure, 3—fragment, 4—velocity measuring zone, 5—heating band of electrical-resistance type, 6—experimental components, 7—target support

表1 两种装药状态试验件的试验温度和破片撞击速度

Table 1 Fragment impact velocities and temperatures of explosives at tests

sample	explosive	$T / ^\circ\text{C}$	$v / \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
1#			784
2#			1021
3#	PBX-C04	25	1847
4#			1906
5#			1970
6#			1390
7#			1683
8#	PBX-C04 /HNS	25	1912
9#			1970
10#		200	1640

2.3 反应烈度判定方法

装药受到破片撞击后根据装药反应过程整体表现和输出,可划分为无反应、燃烧、爆燃和爆轰等不同等级。目前,除了爆轰反应有明确的定义外,其他反应级别国内外行业内未见到定量的判定标准,通常需借助壳体破裂形态、壳体速度及空气冲击波超压进行综合评价^[20]。具体而言,无反应级是指炸药经历事故载荷作用后,未发生自持放能反应;燃烧级是指炸药点火后持续燃烧,约束结构因内部剧烈增长压力而解体,被短程抛掷散落,通常有块状炸药因快速泄压引发燃烧熄灭而残留,也可能被限制在壳体残骸中持续燃烧;爆燃

级是指结构约束中炸药剧烈反应形成高压,在急剧增长的高压下破碎炸药快速燃烧,形成装药结构的严重破碎、高速飞散,伴随显著超压生成,炸药很少残留。

为了进一步保证试验结果判读的准确性,本研究对装药受高速破片撞击后的爆燃和爆轰等较高烈度响应状态的判定以超压数据为主,以鉴证板和试验件残骸破碎情况为辅。对无反应和燃烧等低烈度响应的结果,则通过高速摄影拍摄的装药撞击后响应图像对比为主,以试验后回收的残留炸药表面进行X射线光电子能谱分析(XPS)结果为辅,综合判定装药的响应情况。

3 结果与分析

3.1 试验结果

3.1.1 鉴证板/壳体破碎情况及高速摄影影像

图6是不同试验条件下PBX-C04装药撞击响应后鉴证板/壳体破碎情况及高速摄影影像。

3.1.2 超压试验测试结果

不同条件下试验测得的超压情况详见表2所示,其中空气中的冲击波超压值 P_{2m} 是对4支自由场超压传感器测得的有效数据平均后的结果。试验测量到的燃烧、爆燃和爆轰等烈度下的典型自由场超压曲线如图7所示。

3.1.3 低烈度反应残留炸药的X射线光电子能谱分析

对于装药受到撞击后无反应发生或发生燃烧等低烈度反应时,通常无超压产生,这就对反应级别的判定带来了困难。由于装药发生低烈度反应后通常会有大量破碎炸药块残留,本研究探索了采用X射线光电子能谱分析技术(X ray photoelectron spectroscopy, XPS)^[21]分别测试试验前后炸药表面的各元素组成及其结合能和含量,分析炸药表面发生的组分变化,从而辅助判定装药低烈度反应等级。

PBX-C04炸药配方主要由TATB和氟橡胶粘结剂(F2314)组成,TATB及F2314的化学式见图8。从各组分的化学式中可看出O、N两种元素全部来自于TATB,F、Cl元素全部来自于氟橡胶粘结剂F2314,可分别作为示踪元素表征反应状态。表2为撞击前/后PBX-C04炸药表面各元素含量,其中试验前在装药表面取了1份样品(0#),试验后由于撞击后回收的残余炸药的表面有可能是受到撞击后物理破碎形成,也有可能是由于装药发生了点火反应形成,为了确保样品的有效性,从回收的残余炸药中取了2份样品(1#、2#)。图9为撞击前/后



图6 撞击试验后试验件残骸情况及高速摄影影像

Fig.6 Experimental wreckages and high-speed records of tested devices after fragment impacts

表2 不同试验条件下超压测试结果

Table 2 Results of air overpressure at 2-meter distance under various test conditions

sample	explosive	$T/^\circ\text{C}$	$v/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	$P_{2\text{m}}/\text{kPa}$
1#			784	None
2#			1021	None
3#	PBX-C04	25	1847	None
5#			1906	17.5
6#			1970	19.0
7#			1390	2.2
8#			1683	11.0
9#	PBX-C04/HNS	25	1912	16.7
10#			1970	30.0
11#		200	1640	51.6

Note: 1) T is the test temperature; 2) v is the impact velocity; 3) $P_{2\text{m}}$ is corresponding overpressure at 2-meter distance.

PBX-C04炸药样品中各元素XPS谱图。

从表3中可以看出,撞击前后的PBX-C04炸药样品其N、O、F、Cl元素的含量均发生了显著变化,其中

F、Cl元素含量明显下降。这是由于包覆在TATB晶体表面的粘结剂因为燃烧导致了脱落或者是粘结剂发生了反应,从而导致F、Cl元素的下降;同时,由于粘结剂脱落TATB晶体裸露导致N、O元素含量有所增加。

从图9可以看到,未经过撞击的标准样品和经过高速撞击后回收的样品N、O、Cl、F元素的谱峰的数目一致,结合能基本没有变化。C元素的谱图第一峰峰值降低,第二峰分裂成三个峰并且峰值升高,其原因可能是炸药发生燃烧,部分表面被烧黑炭化。结合前述的各元素含量分析,进一步说明了回收的样品发生了燃烧反应。

综上,基于超压、鉴证板、壳体变形及XPS分析可以获得PBX-C04炸药高速撞击响应烈度的判读结果,如表4所示。

3.2 撞击速度对PBX-C04主装药撞击安全性影响

从图6a~图6e中可以看出,当弹丸撞击速度为 $784\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,壳体完好,壳体底部有轻微的弹丸撞击

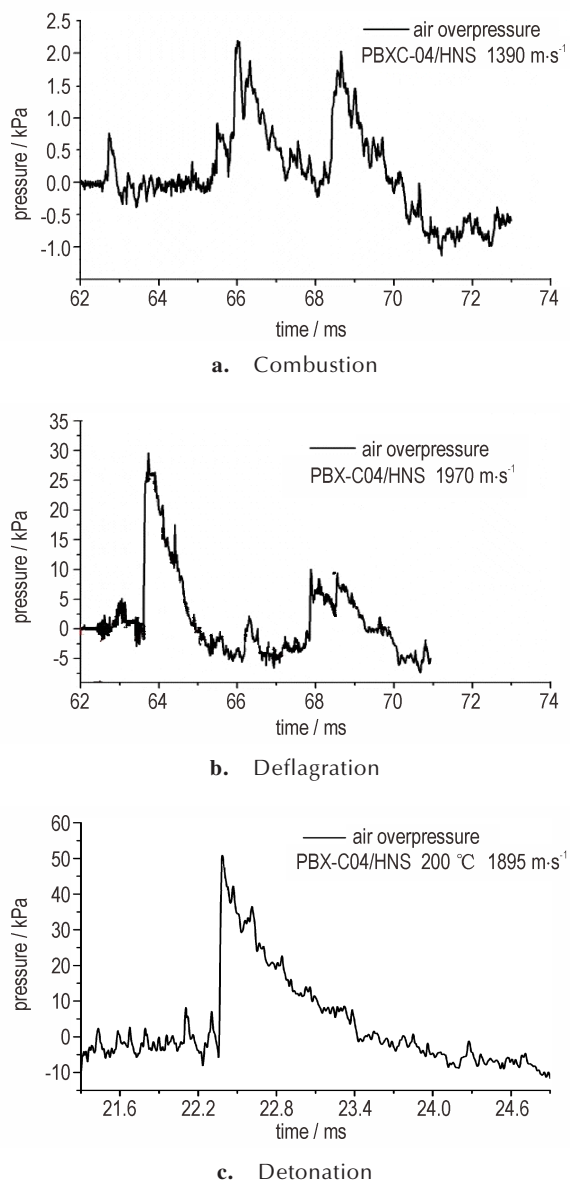


图7 实测典型燃烧、爆燃及爆轰反应的超压曲线
Fig.7 Typical air overpressure curves of impact tests

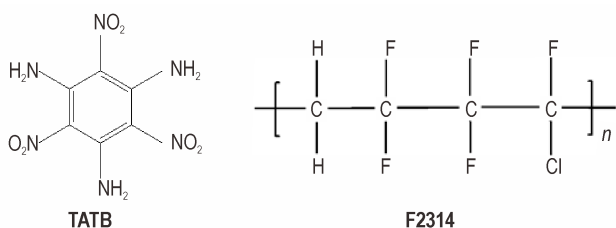


图8 TATB及F2314化学结构式
Fig.8 Chemical formula structures of TATB and F2314

痕迹,壳体内有少量炸药剩余;弹丸撞击速度为 $1021 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,壳体裂开为2块,壳体底部有明显的弹丸撞击痕迹;弹丸撞击速度为 $1847 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,壳体裂为4块,壳体底部完整;弹丸撞击速度为 $1906 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、

表3 撞击前/后PBX-C04炸药表面各元素含量($v=1847 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)

Table 3 Chemical element contents of PBX-C04 on surface before and after impact ($v=1847 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) %

sample	C	N	O	F	Cl
0#	36.77	21.83	18.03	19.82	3.56
1#	39.26	31.8	25.01	3.27	0.66
2#	39.56	29.52	24.74	4.22	1.37

Note: 0# represents the sample content before impact while 1# and 2# represent sample contents after impact.

$1970 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,壳体破裂为若干块,壳体底部破裂。

从表2可见,在低于 $1847 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的撞击速度下,PBX-C04装药均没有超压产生;在 $1906 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $1970 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的超高速撞击下,产生超压值也不超过 19 kPa ,仅为燃烧反应。

由此可见,随着撞击速度的提高,PBX-C04装药的响应也在变强,但即便撞击速度高达 $1970 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,常温PBX-C04炸药反应烈度仍只为燃烧反应,具有优异的高速撞击安全性。

3.3 传爆药的引入对PBX-C04主装药撞击安全性影响

对于PBX-C04/HNS复合装药结构(图6f~图6i和表2),中等速度撞击($1390 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)后,在 2 m 处无明显超压,壳体撕裂为小块,复合装药结构仅发生了燃烧反应,而高速撞击($1970 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)则在 2 m 处的超压达到 30 kPa ,复合装药结构发生了爆燃反应。对比PBX-C04和PBX-C04/HNS复合装药结构试验结果(见图6e、图6i和表2)可见,原本对高速撞击($1970 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)不敏感的PBX-C04主装药因为传爆药HNS的引入,超压值由 19 kPa 升至 30 kPa ,其在高速撞击后的反应烈度从燃烧提高到了爆燃。

由此可见,随着撞击速度的提高,PBX-C04/HNS复合装药反应产生的空气波超压也逐渐升高。相同撞击速度下($1970 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),传爆药的引入降低了PBX-C04的高速撞击安全性。

3.4 高温对PBX-C04主装药撞击安全性影响

对比图6g和图6j,相同的撞击速度下(约 $1650 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),加热到 $200 \text{ }^\circ\text{C}$ 后的PBX-C04/HNS复合装药结构的反应烈度由燃烧提高到了爆轰,未回收到任何装药壳体残骸,其鉴定板与装药件接触处形成了直径 120 mm 深约 12 mm 的凹痕,其背面在反射拉伸波作用下形成不规则的部分崩落, 2 m 处超压值也达到了 51.6 kPa 。由此可见,高温显著降低了PBX-C04/HNS的撞击安全性。

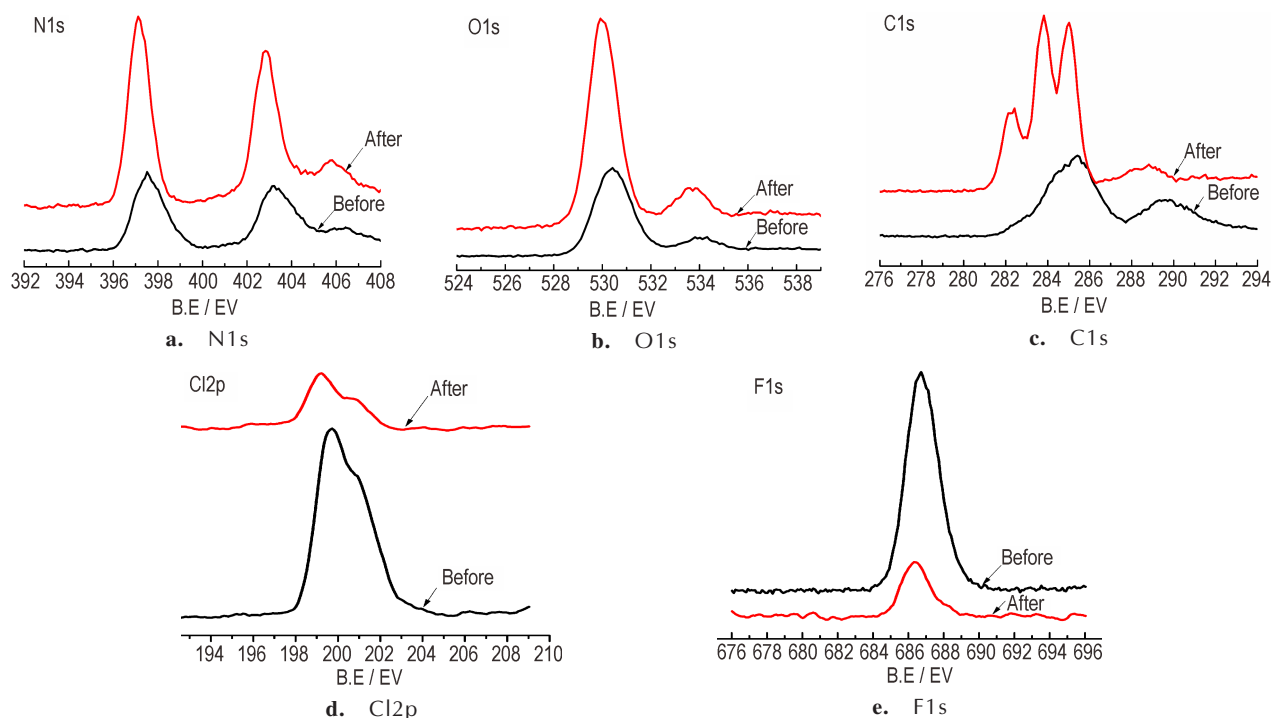


图9 标准样品及撞击后样品各元素的XPS谱图对比

Fig.9 Comparison between XPS spectra of standard substance and impacted samples

表4 高速撞击试验钝感炸药响应烈度判断结果

Table 4 Results of reaction violence levels of insensitive explosive PBX-C04 equipped with/without booster charge after high-speed impacts

sample	explosive	T/°C	v / m·s ⁻¹	Reaction level
1#			784	No reaction
2#			1021	No reaction
3#	PBX-C04	25	1847	Combustion
5#			1906	Combustion
6#			1970	Combustion
7#			1390	Combustion
8#			1683	Combustion
9#	PBX-C04/HNS	25	1912	Combustion
10#			1970	Deflagration
11#		200	1640	Detonation

4 结论

(1) 常温下 PBX-C04 炸药具有优异的撞击安全性。随着撞击速度的提高, PBX-C04 装药的响应烈度逐渐变强, 但在高达 1970 m·s⁻¹ 的速度撞击下, 常温的 PBX-C04 炸药仍没有发生燃烧等级以上的反应。

(2) 钝感装药结构中相对敏感的传爆药剂是影响其高速撞击安全的薄弱环节, 传爆药的引入降低了 PBX-C04 炸药的高速撞击安全性。在引入传爆药

HNS 后, PBX-C04 达到燃烧反应等级的高速破片速度从不低于 1970 m·s⁻¹ 降低到不高于 1912 m·s⁻¹。

(3) 高温可明显降低装药的撞击安全性。在常温下, 当弹丸撞击速度不高于 1900 m·s⁻¹ 时, 无论是 PBX-C04 装药还是 PBX-C04/HNS 复合装药结构, 反应等级均在燃烧及以下。当加热到 200 °C 高温时, 弹丸撞击速度 1640 m·s⁻¹ 时, 就可以使带传爆药的钝感主装药发生爆轰反应。

参考文献:

- [1] MIL-STD-2105D. Hazard assessment tests for non-nuclear munitions[S]. Defense Department of America, 2011.
- [2] NATO STANAG 4439-2010. Policy for introduction and assessment of insensitive munitions(IM)[S]. 2010.
- [3] Gushanov A R, Volodina N A, Belov G V, et al. Numerical simulation of experiments on the low-velocity impact on HMX-based HE using explosive transformation initiation kinetics[J]. *Journal of Energetic Materials*, 2010, 28: 50-65.
- [4] 屈可朋, 赵志江, 沈飞, 等. 高速破片撞击下带壳装药响应及防护的试验研究[J]. *火炸药学报*, 2019, 42(2): 185-190. QU Ke-peng, ZHAO Zhi-jiang, SHEN Fei, et al. Experimental study on response and protection of charge with shell under high velocity fragment impact[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2019, 42(2): 185-190.
- [5] 孙宝平, 段卓平, 刘彦, 等. 破片撞击损伤装药点火数值模拟[J]. *含能材料*, 2019, 27(3): 178-183. Sun Bao-ping, Duan Zhuo-ping, LIU Yan, et al. Numerical simulation on damaged charge ignition by fragment impact[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*. 2019,

- 27(3): 178-183.
- [6] 孙宝平, 段卓平, 张海英, 等. 破片撞击装药点火实验和数值模拟[J]. 爆炸与冲击, 2013, 33(5): 456-462.
SUN Bao-ping, DUAN Zhuo-ping, ZHANG Hai-ying, et al. Experiment and numerical simulation on ignition of charge by fragment impact[J]. *Explosion and Shock Waves*, 2013, 33(5): 456-462.
- [7] Dai Xiaogan, Wen Yushi, Wen Maoping, et al. Projectile impact ignition and reaction violent mechanism for HMX-based polymer bonded explosive at high temperature [J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2017, 42:1-11.
- [8] Ampleman G. Development of a new generation of insensitive explosives and gun propellants[J]. *International Journal of Energetic Materials and Chemical Propulsion*, 2010, 9(2): 107-132.
- [9] Picart D, Junqua-Moulet A. Oblique impacts and friction of HMX and TATB-based PBXs[J]. *Propellants Explos. Pyrotech.* 2017, 42:1431-1438.
- [10] Forbes J W, Tarver C M, Chidester S K, et al. Measurement of low level explosives reaction in the Two-dimensional Steven impact test[R]. UCRL-JC-132716.
- [11] 代晓淦, 申春迎, 文玉史. 模拟跌落撞击下 PBX-2 炸药的响应[J]. 含能材料, 2011, 19(2): 209-212.
DAI Xiao-gan, SHEN Chun-ying, WEN Yu-shi. Reaction of PBX-2 explosive under simulated drop impact[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2011, 19(2): 209-212.
- [12] 代晓淦, 于邵钧, 黄风雷, 等. 常温和 75 °C 条件下 PBX-2 炸药射弹撞击响应特性[J]. 含能材料, 2017, 25(8): 683-688.
DAI Xiao-gan, YU Shao-jun, HUANG Feng-lei, et al. Response characteristic of PBX-2 explosive under projectile impact at ambient temperature and 75 °C [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2017, 25(8): 683-688.
- [13] 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 & Propellants*. 2009, 32(4): 41-44.
- [14] 李龙飞. 含 TATB 传爆药冲击波感度与烤燃特性的研究[D]. 太原: 中北大学, 2015.
LI Long-fei. Study on the shock wave sensitivity and the cook-off characteristics of TATB booster explosive [D]. Taiyuan: North University of China, 2015.
- [15] 豆世菡. 钝感传爆药危险性评估[D]. 太原: 中北大学, 2010.
DOU Shi-han. Risk assessment of insensitive booster explosive [D]. Taiyuan: North University of China, 2010.
- [16] T. D. Tran, P. F. Pagoria, D. M. Hoffman, J. L. Cutting, R. S. Lee, R. L. Simpson. Characterization of 2, 6-Diamino-3, 5-Dinitropyrazine-1-Oxide (LLM-105) as an insensitive high explosive material, *33rd ICT*, 2002.
- [17] Wenzheng Xu, Chongwei An, Jingyu Wang, Jun Dong, and Xiaoheng Geng, Preparation and properties of an insensitive booster explosive based on LLM-105 [J], *Propellants Explos. Pyrotech.* 2013, 38, 136-141.
- [18] Darren L. Williams, Karl D. Kuklenz. A determination of the hansen solubility parameters of hexanitrostilbene (HNS) [J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2009, 34(5): 452-457.
- [19] 罗智恒, 向永, 何碧, 等. 一种高速破片加速装置设计研究[J]. 弹道学报, 2019, 31(2): 25-29.
LOU Zhi-heng, XIANG Yong, HE Bi, HAN Yong. A design investigation for high-velocity shell fragments launcher [J]. *Journal of Ballistics*, 2019, 31(2): 25-29.
- [20] Matthew Holmes, Robert Broilo, Ryan Rettinger, et al. Heavily confined PBX 9501 experiment report FY 2020 [R]. Los Alamos National Laboratory, LA-UR-20-29243, 2020.
- [21] 郭沁林, X射线光电子能谱[J]. 物理, 2007, 36(5): 405-410.
GUO Qin-Lin, X-ray photoelectron spectroscopy [J], *Physics*, 2007, 36(5): 405-410.

High-speed Impact Safety Properties the Tatb-based Plastic-bonded Explosive and Its HNS Compound Charge Influence

WEN Wen, WANG Shu-juan, DAI Xiao-gan, CHAI Chuan-guo, XIANG Yong, HUANG Qian, WEN Yu-shi, LI Ming

(Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang 621999, China)

Abstract: Ammunitions might experience safety threats of high-temperature heating, high-speed fragment impact, and their combined effects in battlefield. In order to investigate the reaction phenomenon of insensitive explosive PBX-C04 under high-speed impact and the effects of high-temperature and booster charge on this reaction phenomenon, the insensitive explosive safety experiments under high-speed fragment impact were carried out, and the influences of high-temperature and insensitive booster charges (HNS) were considered. Based on the air overpressure, witness plate wreckage and chemical-physical analysis of remained explosives on the scene, the explosive reaction levels of PBX-C04 was assessed comprehensively, and the influences of high temperature and booster charge were studied. The results show that PBX-C04 at room temperature exhibits excellent safety characteristic under high-speed fragment impact, it merely reacted to burning when impacted by a fragment with velocity up to $1970 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. When the booster charges of HNS was included, the reaction levels of PBX-C04 correspondingly deteriorated into deflagration. However, when heated to $200 \text{ }^\circ\text{C}$ before impact test, the high-speed impact safety of PBX-C04 equipped with booster charge deteriorated remarkably into detonation.

Key words: Insensitive explosive; composite charge; high-speed impact; safety assessment; XPS

CLC number: TJ55

Document code: A

DOI: 10.11943/CJEM2020163

(责编: 高毅)