

文章编号: 1006-9941(2006)06-0453-04

用抛射弹撞击法 (Steven 试验) 研究 PBX-2 炸药加速老化前后反应能力

代晓淦, 向永, 申春迎

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要: 采用 2 kg 弹丸对 55 °C 加速老化 180 天和 540 天的 PBX-2 炸药进行了 Steven 试验, 试验中采用锰铜压力计测试了样品中的压力变化过程, 通过高速录像照片和压力曲线分析了炸药点火反应的延迟时间, 通过冲击波超压传感器测量了炸药的反应超压。对加速老化前后炸药的试验结果进行了对比, 试验结果初步表明加速老化前后的 PBX-2 炸药在 Steven 试验中发生反应的反应程度和受力过程并无明显变化。

关键词: 爆炸力学; Steven 试验; 加速老化; 炸药安全性; 反应能力

中图分类号: TJ55; O389

文献标识码: A

1 引言

1998 年 Steven K. Chidester 等人^[1]对以 HMX 为基的炸药和库存老化(15~30 年)炸药: PBX9404、LX-10、LX-14、PBX9501、LX-04 进行了 Steven 试验。试验通过碳阻压力计及碳膜压力计测试了样品受撞击后内部的压力变化过程, 采用冲击波超压传感器测试了距样品 3 m 处的冲击波超压, 结果发现炸药库存老化后的安全性能未有明显的改变。

本试验为了检测 PBX-2 炸药加速老化后的安全性能变化, 采用 2 kg 钢质弹丸对 55 °C 加速老化 180 天和 540 天的 PBX-2 炸药进行了 Steven 试验测试, 得到了不同弹速撞击下的反应超压、点火延迟时间和炸药受力过程曲线。

2 Steven 试验装置

Steven 试验撞击示意图如图 1 所示^[2], 其中炸药样品尺寸为 $\Phi 98 \text{ mm} \times 13 \text{ mm}$ 。试验中将内嵌有压力、应变传感器的炸药试样装入试验样品盒内, 将样品盒固定在钢靶板上。用炮以水平方式发射 2 kg 钢质弹丸, 使其垂直撞击样品盒。同时在文献 2 的试验装置基础上对试验装置作了一些细微的改变, 由于文献^[2]中弹丸撞击样品盒时会造成样品盒从靶上脱落, 导致压力计信号可能在炸药还未反应时就提前断开, 压力信号不能准确反映炸药发生反应的时间, 因而本研究在样品盒的两边增加了挂钩(见图 2), 使弹丸撞击过

程中样品盒不易从靶上掉下拉断压力计, 只有在炸药发生反应后产生较强的冲击波才能使压力信号断开, 从而能准确判断炸药发生反应的时间。从图 2 可以看出, 弹丸撞击后仅形成凹坑, 样品盒未从靶上掉落, 传感器接线良好。

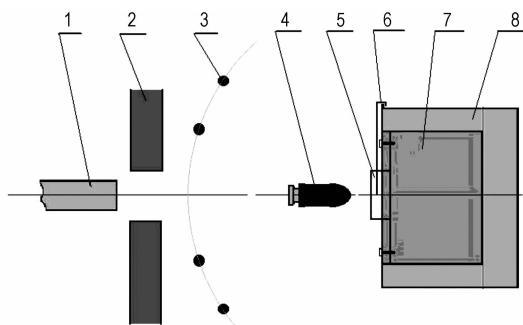


图 1 Steven 撞击试验示意图

1—炮管, 2—防护墙, 3—冲击波超压传感器, 4—弹丸, 5—Steven 样品盒, 6—挂钩, 7—靶板、钢锭, 8—水泥基础

Fig. 1 Diagram of Steven impact test

1—gun, 2—defense wall, 3—blast gauges, 4—projectile, 5—Steven sample box, 6—pothook, 7—target, 8—cement



图 2 试验前后挂靶照片

Fig. 2 Test photographs of the sample box hanging in Steven test before and after testing

收稿日期: 2006-07-24; 修回日期: 2006-08-24

作者简介: 代晓淦(1978-), 男, 硕士, 研究方向为炸药安全性。e-mail: zhangy2005767@sina.com

3 试验结果

3.1 PBX-2 炸药反应程度

图3是弹丸撞击PBX-2炸药过程高速录像照片,幅频为1800幅/秒,从图3可以看出弹丸撞击到样品盒试件后继续运动,在延迟一段时间后高速录像记录有发光现象,表明此时PBX-2炸药已发生反应。

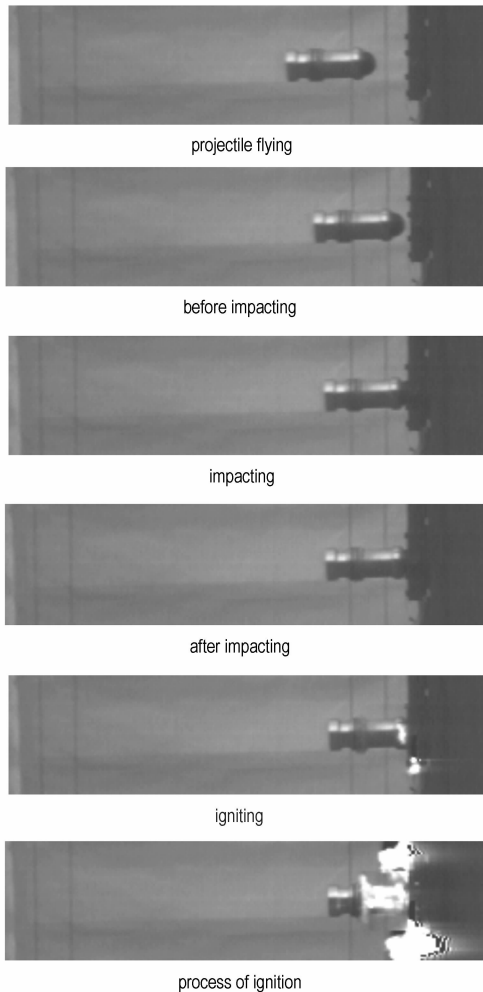


图3 弹丸以 $v = 74.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 撞击老化540天PBX-2炸药的高速录像照片

Fig. 3 Photograph of projectile impacting PBX-2 explosive aged 540 d at $74.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

未老化的PBX-2炸药Steven试验结果数据见文献[2],未老化PBX-2炸药点火阈值速度为 $40 \sim 46 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,在阈值速度区间空气冲击波超压为 $4 \sim 6 \text{ kPa}$,当弹速为 $66.58 \sim 120 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时冲击波超压为 $8 \sim 9 \text{ kPa}$ 。

表1为PBX-2炸药 $55 \text{ }^\circ\text{C}$ 加速老化180天、540天后的密度表,本试验中密度测试精度约为 $0.001 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,从表1可以看出 $55 \text{ }^\circ\text{C}$ 加速老化180天后PBX-2炸药

密度降低了 $0.003 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,即 0.16% ,老化540天后PBX-2炸药密度降低了约 $0.005 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,即约 0.27% ,表明PBX-2炸药在 $55 \text{ }^\circ\text{C}$ 加速老化180天和540天均引起了PBX-2炸药密度很小的变化,其中加速老化时间越长,炸药密度变化就稍现增大。

表1 $55 \text{ }^\circ\text{C}$ 加速老化180天、540天的PBX-2炸药密度表

Table 1 Density of PBX-2 explosive accelerated aging 180 days and 540 days at $55 \text{ }^\circ\text{C}$

180 days			540 days		
pristine density $/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	density after age $/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	deviation $/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	pristine density $/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	density after age $/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	deviation $/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$
1.843	1.840	0.003	1.846	1.842	0.004
1.847	1.844	0.003	1.848	1.843	0.005
1.846	1.843	0.003	1.844	1.838	0.006
1.844	1.841	0.003	1.851	1.845	0.006
1.849	1.846	0.003	1.845	1.841	0.004
average deviation $/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$		0.003	average deviation $/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$		0.005

图4为PBX-2炸药老化前后超压与射弹速度关系曲线,从图中可以看出 $55 \text{ }^\circ\text{C}$ 加速老化180天后的PBX-2炸药在弹速 $51.72 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时炸药未发生反应,在 $74.09 \sim 181.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 炸药均发生了反应,但反应的超压较小,最大超压仅为 10.04 kPa ; $55 \text{ }^\circ\text{C}$ 加速老化540天后的PBX-2炸药在 $51.5 \sim 179.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 炸药均发生了反应,但反应的超压较小,最大超压仅为 9.82 kPa 。 $55 \text{ }^\circ\text{C}$ 加速老化180天、540天和未加速老化的PBX-2炸药在弹速 $51 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右的反应出现不同,其可能的原因是由于在此速度下的试验各只有一发,还不能说明老化前后炸药的速度阈值的变化,需要在今后的工作中就大量的试验样品做出 $55 \text{ }^\circ\text{C}$ 加速老化180天和540天后的PBX-2炸药速度阈值进行比较。

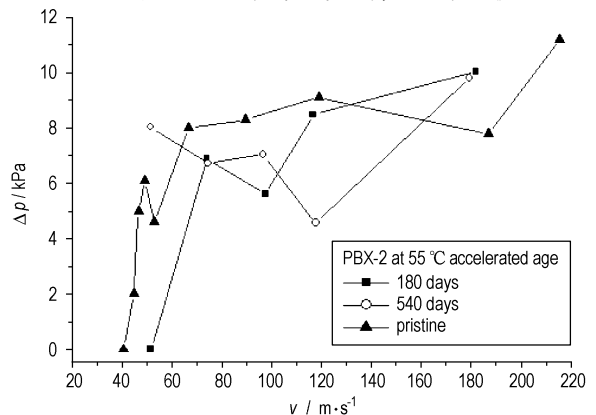


图4 老化前后PBX-2炸药在Steven试验中超压与弹速关系曲线
Fig. 4 Overpressure versus projectile velocity for pristine and aged PBX-2 in Steven test

图 5 为 PBX-2 炸药老化前后点火延迟时间与射弹速度关系曲线,从图中可以初步看出老化前后的 PBX-2 炸药发生反应后的点火延迟时间并没有明显改变。

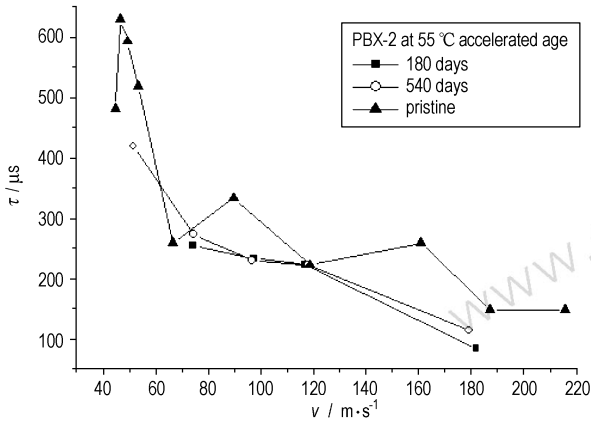


图 5 老化前后 PBX-2 炸药在 Steven 试验中点火延迟时间与弹速关系曲线

Fig. 5 Ignition delay time (τ) versus projectile velocity (v) for pristine and aged PBX-2 in Steven test

结合表 1、图 4 和图 5 可知在老化前后不同速度撞击下的反应超压均比较低,发生反应后的反应趋势并无变化,数据结果初步表明老化前后的 PBX-2 炸药发生反应后的反应程度没有明显改变。

图 6 和图 7 分别是 PBX-2 炸药 55 °C 加速老化

180 天、540 天后进行 Steven 试验回收的残骸样品照片。从图 6 和图 7 可看出: 弹速在 51.72 m·s⁻¹ 时炸药未发生反应,被撞击形成凹坑,发生反应的试件中样品盒未被撕裂,盖板均未被撕成碎块,仅有一凹坑,在较高速度撞击下盖板被蚀穿,表明炸药反应较小。

3.2 PBX-2 炸药受力分析

试验通过在样品盒背板中心安装锰铜压力传感器来测量弹丸撞击样品盒试件时炸药底部受到的压力。图 8 为 Steven 试验中部分 55 °C 加速老化后的 PBX-2 炸药底部的受力历程曲线,图中零时左右的尖峰信号为弹丸接触样品盒靶板时的触发信号。

从图 8 可以看出,在 51.72 m·s⁻¹ 时加速老化 180 天的 PBX-2 炸药底部在撞击约 80 μs 后撞击压力差达到约 0.18 GPa,随后压力持续一段时间,在 500 μs 后回复到零点上下,表明此时炸药并未发生反应;在 51.5 m·s⁻¹ 时加速老化 540 天的 PBX-2 炸药底部在撞击约 60 μs 后撞击压力达到约 0.18 GPa,随后压力持续作用,在 410 μs 后压力信号发生突变,表明炸药发生反应,反应延迟时间与高速录象分析结果一致。在约 74 m·s⁻¹ 时加速老化 180 天和 540 天的 PBX-2 炸药的受力过程和点火延迟时间并无明显变化。结合文献[2]中的未老化 PBX-2 炸药的受力分析,结果初步表明老化前后的 PBX-2 炸药的受力过程并无明显变化。

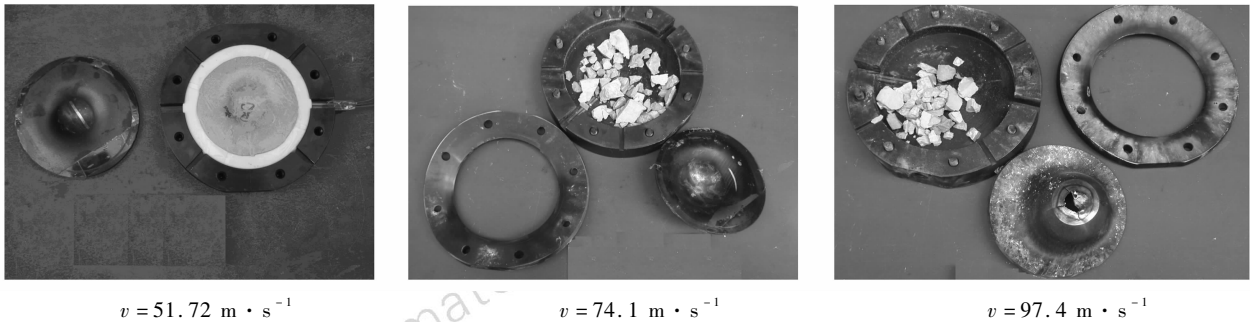


图 6 PBX-2 炸药 55 °C 加速老化 180 天后 Steven 试验回收的部分残骸样品照片

Fig. 6 Recover sample for PBX-2 accelerated aging 180 days at 55 °C

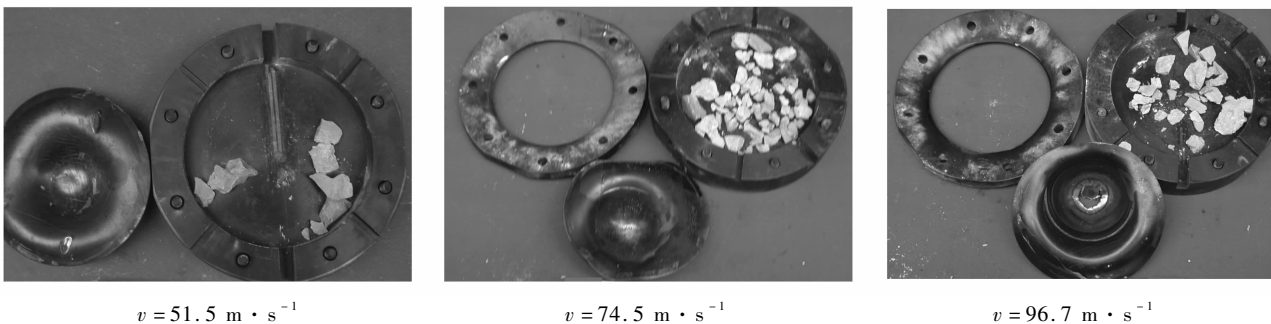


图 7 PBX-2 炸药 55 °C 加速老化 540 天后 Steven 试验回收的部分残骸样品照片

Fig. 7 Recover sample for PBX-2 accelerated aging 540 days at 55 °C

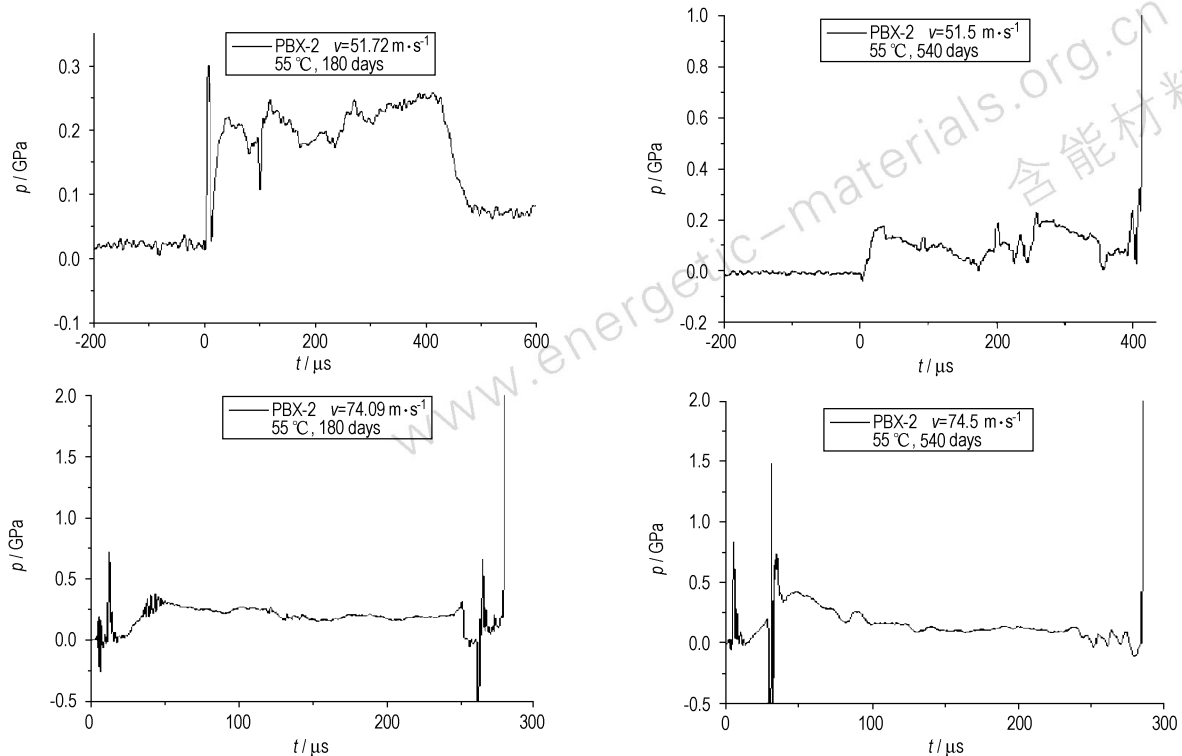


图8 Steven 试验中老化后的 PBX-2 炸药底部受力历程曲线

Fig.8 Pressure-time curves of the rear surface for aged PBX-2 in Steven test

4 结论

PBX-2 炸药在 55 °C 加速老化 180 天后的密度变化很小,降低了约 $0.003 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,在弹速 $51.72 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时炸药未发生反应,在 $74.09 \sim 181.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 炸药均发生了反应,但反应的超压较小,最大超压仅为 10.04 kPa ;在 55 °C 加速老化 540 天后 PBX-2 炸药密度降低了约 $0.005 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,在 $51.5 \sim 179.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 炸药均发生了反应,但反应的超压较小,最大超压仅为 9.82 kPa 。结合文献[2],结果初步表明:PBX-2 炸药在加速老化前后不同速度撞击下发生反应后的反应趋势没有改变,反

应超压较小,反应程度和受力过程均无明显变化。

参考文献:

- [1] Steven K Chidester, Craig M Tarver, Raul G Garza. Low amplitude impact testing and analysis of pristine and aged solid high explosives [A]. 11th International Detonation Symposium [C], Snowmass Colorado, 1998: 93 - 100.
- [2] 代晓淦,向永. 两种塑料粘结炸药的 Steven 试验及撞击感度研究 [J]. 含能材料, 2006, 14(1): 10 - 13.
DAI Xiao-gan, XIANG Yong. Study of Steven test and impact sensitivity for two explosives [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2006, 14(1): 10 - 13.

Reaction Ability of PBX-2 Before and After Accelerated Aging by Projectile Impact (Steven Test)

DAI Xiao-gan, XIANG Yong, SHEN Chun-ying

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

Abstract: PBX-2 explosive accelerated aging 180 days and 540 days at 55 °C were tested in Steven test by using a steel projectile of 2.0 kg. The pressure change was measured by pressure gauges, and ignition delay time was analyzed with high-speed motion pictures and pressure curves. The reaction overpressure was gained by blast pressure gauges. The test results of aged PBX-2 explosive were compared with pristine PBX-2. The results show that there is not obvious change for the reaction degree and pressure course of pristine and accelerated aged PBX-2 explosive in Steven test.

Key words: explosion mechanics; Steven test; accelerated age; explosive safety; reaction ability