

文章编号: 1006-9941(2006)01-0038-04

两种塑料粘结炸药的 Steven 试验及撞击感度研究

代晓淦, 向 永

(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 钢质弹丸对 PBX-2、PBX-1 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, 通过高速录像照片估算了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。结果表明 PBX-1 炸药和 PBX-2 炸药的点火反应阈值速度分别约为 $35.0 \sim 35.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $40 \sim 46 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 在同样撞击速度下 PBX-1 炸药的点火延迟时间明显小于 PBX-2 炸药, 这表明 PBX-2 炸药较 PBX-1 炸药钝感。

关键词: 爆炸力学; Steven 试验; 炸药安全性; 撞击感度

中图分类号: TJ55

文献标识码: A

1 引 言

由于炸药部件对核武器安全性、可靠性有特殊的影响, 因而国内外都极为重视核武器中炸药部件的安全性能。

用于检测炸药部件安全性能的苏珊试验, 主要是根据试验感度曲线、高速摄影结果和试验残骸作综合分析, 从而确定炸药的安全性, 但这些方法仅是定性的分析方法, 对炸药受到外部刺激时内部的压力应变变化情况缺乏应有的数据, 不能对其进行定量的分析。为了解决上述问题而设计出了 Steven 试验方法^[1,2]。该方法是通过在试件中预埋应力、应变传感器, 获得更多的炸药反应历程信息, 使其测试结果便于数值模拟计算, 确定炸药的某些内部常数, 从而可预估炸药在撞击情况下的安全性能。Steven K. Chidester 和 D. J. Idar 等人采用 Steven 试验方法已对 PBX9404、PBX9501、LX-04 等炸药进行了试验。

本试验采用 2 kg 钢质弹丸对 PBX-1 炸药和 PBX-2 炸药进行了 Steven 试验测试, 得到了 PBX-1 炸药和 PBX-2 炸药的反应阈值速度、不同弹速撞击下的反应超压和点火延迟时间。

2 Steven 试验原理与试验装置

Steven 试验装置如图 1 所示, 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, 盒内试样受到冲击、挤压等因素的综合作用, 机械能迅速转化为热能, 部分试样分解, 最终可能引起点火, 甚至成长为爆轰。通过高速摄影系统测量试验弹的撞靶速度、记录试验弹撞靶至点火爆炸的过程; 通过压力、应变测试, 获得试样受撞击过程中的压力、应变; 通过空气冲击波超压测试系统测量试样发生爆炸时产生的空气冲击波超压, 从而综合评价炸药感度。

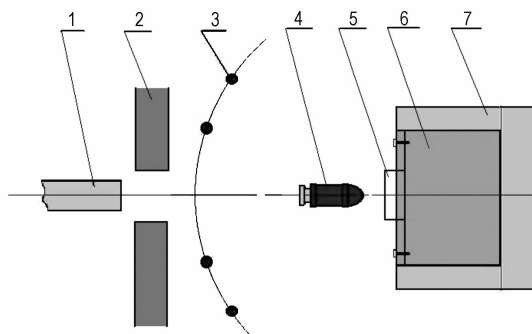


图 1 Steven 撞击试验示意图

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—靶板、钢锭, 7—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—target, 7—cement

收稿日期: 2005-05-12; 修回日期: 2005-07-10

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

样品试件如图 2 所示, 由炸药样品、样品盒、钢盖板、聚四氟乙烯环、压力和应变探针等组成。其中炸药样品尺寸 $\Phi 98 \text{ mm} \times 13 \text{ mm}$, 钢盖板厚 3.18 mm。

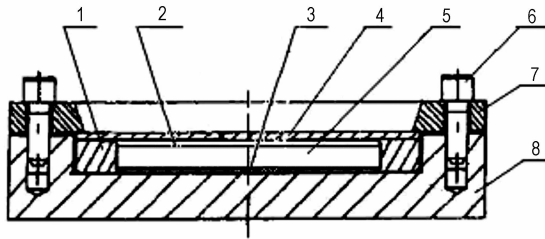


图 2 Steven 试验炸药样品试件结构示意图

1—聚四氟乙烯环, 2—应变计, 3—锰铜压阻传感器, 4—盖板, 5—试样, 6—螺钉, 7—压环, 8—样品盒

Fig. 2 Diagram of Steven sample

1—Teflon ring, 2—strain gauge, 3—Manganin pressure gauges, 4—cover plate, 5—sample, 6—bolts, 7—retaining ring, 8—steel backing plate

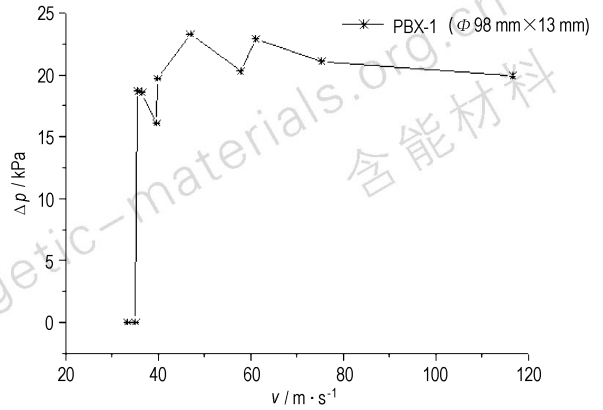


图 3 PBX-1 炸药在 Steven 试验中的空气冲击波超压与弹速关系曲线

Fig. 3 Curves of blast overpressure versus projectile velocity for PBX-1 in Steven test

3 Steven 试验结果

3.1 PBX-1 炸药的试验结果

PBX-1 炸药在试验中点火爆炸时产生的空气冲击波超压与弹速的关系见图 3。从图 3 中可知该炸药的爆炸阈值速度在 $35 \sim 35.5 m \cdot s^{-1}$ 左右,当速度超过 $35.5 m \cdot s^{-1}$ 时,炸药的爆炸反应都比较剧烈,随着弹丸撞击速度增加,反应程度并没有明显随之增加,在 $40 \sim 120 m \cdot s^{-1}$ 的速度范围内,空气冲击波超压均在 $16 \sim 23 kPa$ 左右。

图 4 是 PBX-1 炸药试验部分样品残骸照片。在 $33.38 m \cdot s^{-1}$ 的低速时, PBX-1 炸药没有发生反应, 仅被撞击形成一个小坑, 在弹速为 $36.44 m \cdot s^{-1}$ 和 $57.8 m \cdot s^{-1}$ 撞击时, PBX-1 炸药均发生了剧烈反应, 无剩余样品, 8 个螺钉均被拉断, 在弹头的撞击作用下, 盖板中心与弹头接触的区域形成球形破片, 盖板四周在爆炸力作用下形成环形破片与中间部分断开。

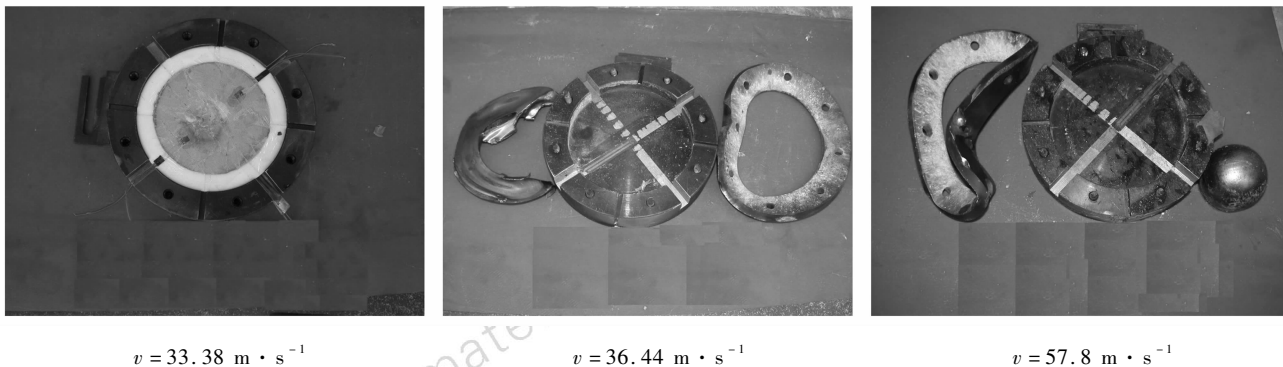


图 4 PBX-1 炸药在不同弹速撞击下的试验部分样品残骸照片

Fig. 4 Photographs of recover sample impacted by projectiles at different velocities for PBX-1

3.2 PBX-2 炸药的试验结果

PBX-2 炸药爆炸时形成的空气冲击波超压与弹速的关系如图 5 所示。PBX-2 炸药点火阈值速度为 $40 \sim 46 m \cdot s^{-1}$ 时, 空气冲击波超压为 $4 \sim 6 kPa$, 当弹速为 $66.58 \sim 120 m \cdot s^{-1}$ 时冲击波超压为 $8 \sim 9 kPa$, 当弹速为 $215 m \cdot s^{-1}$ 时, 冲击波超压约为 $11 kPa$ 。

图 6 是 PBX-2 炸药试验部分样品残骸照片。在弹速为 $45.74 m \cdot s^{-1}$ 撞击时炸药仅有一凹坑, 并未发生反应, 在弹速为 $49.29 m \cdot s^{-1}$ 和 $66.58 m \cdot s^{-1}$ 撞击

时, 炸药发生了点火反应, 但盖板均未发生破裂, 且其中有一发试验仍剩余大量残药, 说明炸药发生爆炸反应程度都比较温和。

3.3 受撞击炸药点火延迟时间

通过高速录像分析, 判断弹丸撞靶和观测到的炸药点火出光时间差值, 可以估算出炸药点火反应延迟时间, 图 7 绘出了试验中 PBX-1 炸药和 PBX-2 炸药的点火延迟时间与弹速的关系。PBX-1 炸药在起爆阈值速度 $35.5 m \cdot s^{-1}$ 的点火延迟时间约 $0.4 ms$, 随着弹

丸撞击速度增加,点火时间随之缩短,在撞击速度约为 $120 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,点火时间缩短到 0.1 ms 左右。PBX-2 炸药在点火阈值速度区间 $40 \sim 46 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右的延迟时间约为 $(0.6 \pm 0.1) \text{ ms}$, 随弹丸撞击速度增加点火

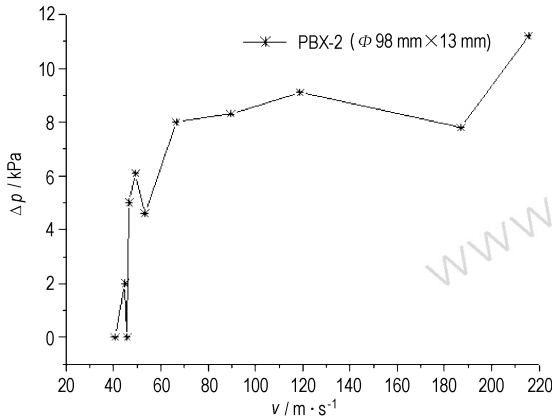


图5 PBX-2 炸药在 Steven 试验中的空气冲击波超压与弹速关系曲线

Fig. 5 Curves of blast overpressure versus projectile velocity for PBX-2 in Steven test

延迟时间也随之缩短。从图中可以看出,在相同撞击速度下,PBX-1 炸药的点火延迟时间明显小于 PBX-2 炸药,表明 PBX-2 炸药更为钝感。

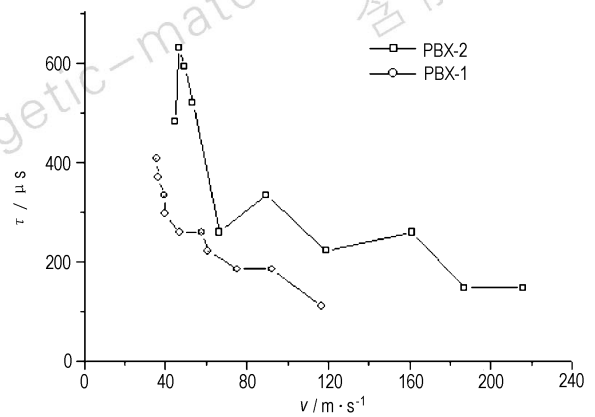
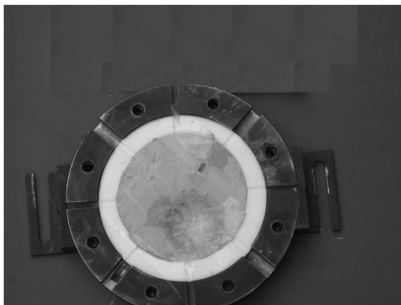


图7 两种炸药点火延迟时间与弹速关系曲线

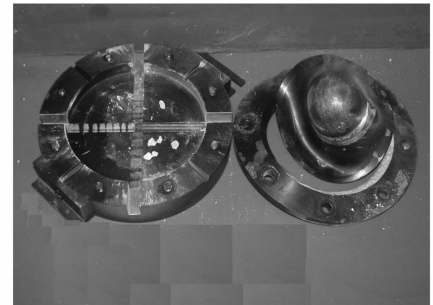
Fig. 7 Curves of ignition delay time (τ) versus projectile velocity (v) for two explosives



$v = 45.74 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$



$v = 49.29 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$



$v = 66.58 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

图6 PBX-2 炸药在不同弹速撞击下的试验部分样品残骸照片

Fig. 6 Photographs of recover sample impacted by projectiles at different velocities for PBX-2

3.4 炸药样品受力曲线

图8和图9分别是PBX-1炸药和PBX-2炸药在Steven试验中部分样品底部受到压力变化的情况。

从图8可以看出PBX-1炸药在弹速 $33.38 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,撞击瞬间压力峰值上升到约 0.16 GPa ,在持续 0.7 ms 后压力基本消失,炸药未发生反应;在弹速 $61.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,撞击瞬间压力峰值上升到约 0.30 GPa ,在 0.2 ms 左右压力值发生明显变化,表明炸药发生了反应。

从图9可以看出PBX-2炸药在弹速 $45.74 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,撞击瞬间压力峰值上升到 0.11 GPa 左右,随后一直下降,在 0.6 ms 时压力基本消失,炸药未发生反应;在弹速 $66.58 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,撞击压力上升到约 0.24 GPa ,压力下降很缓慢,在 0.43 ms 左右时压力发生阶跃上

升,表明炸药发生反应。

4 结论

Steven试验结果表明:PBX-1炸药的点火反应阈值速度约为 $35.0 \sim 35.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,当弹速为 $40 \sim 120 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,爆炸形成的空气冲击波超压为 $16 \sim 23 \text{ kPa}$ 。PBX-2炸药的点火反应阈值速度约为 $40 \sim 46 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,当弹速为 $80 \sim 200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,冲击波超压约为 $8 \sim 9 \text{ kPa}$,当弹速为 $215 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时冲击波超压约为 11 kPa 。PBX-2炸药和PBX-1炸药的点火延迟时间约为 $0.1 \sim 0.7 \text{ ms}$,且PBX-1炸药的点火延迟时间明显小于PBX-2炸药,说明PBX-2炸药较PBX-1炸药更为钝感。

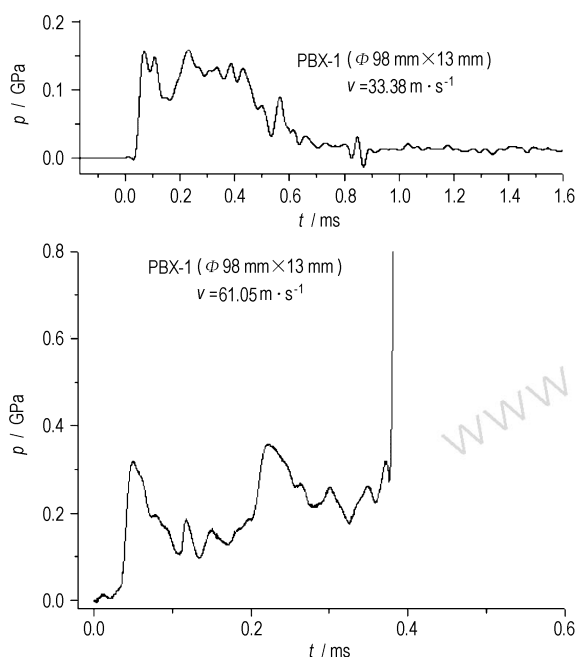


图 8 Steven 试验中 PBX-1 炸药底部压力-时间曲线

Fig. 8 Curves of pressure in the rear surface of PBX-1 versus time in Steven test

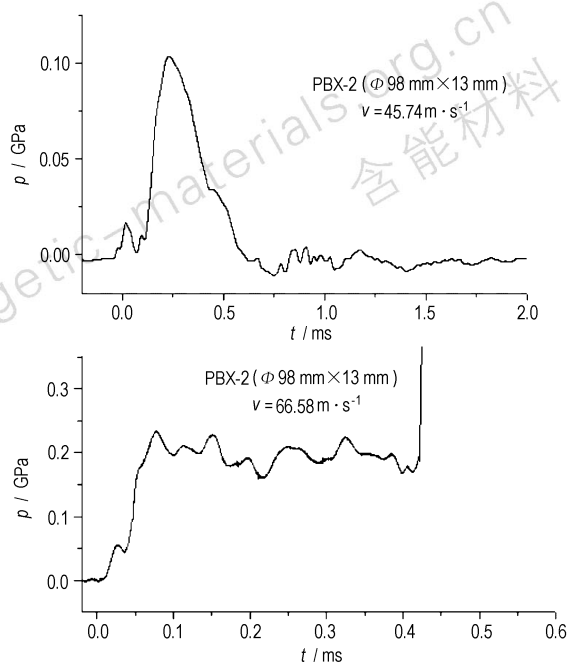


图 9 Steven 试验中 PBX-2 炸药底部压力-时间曲线

Fig. 9 Curves of pressure in the rear surface of PBX-2 versus time in Steven test

Steven 试验能够准确得到不同炸药在试验中的射弹速度阈值和压力变化过程,可以了解炸药在射弹撞击下发生化学反应的剧烈程度,获得了更多炸药发生反应过程中的内部信息,因此它可以用来评价炸药的安全性能。

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] Idar D J, Lucht R A, Straight J W, et al. Low amplitude insult project: PBX9501 high explosive violent reaction experiments[A]. 11th International Detonation Symposium[C], Snowmass Colorado, 1998. 101-110.

Steven Test and Impact Sensitivity for Two Explosives

DAI Xiao-gan, XIANG Yong

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

Abstract: Steven tests for two explosives PBX-2 and PBX-1 were made by using a steel projectile of 2.0 kg. The pressure change was measured by pressure gauges, and ignition delay time was estimated and analyzed by high-speed motion pictures. The reaction overpressure of two explosives were gained by blast pressure gauges. The results show that the threshold velocities of ignition for explosives PBX-1 and PBX-2 range from about $35.0 - 35.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ and $40 - 46 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ respectively, and the ignition delay time of PBX-1 explosive is smaller than that of PBX-2 explosive remarkably, which demonstrates that PBX-1 explosive is more sensitive than PBX-2 explosive.

Key words: explosion mechanics; Steven test; explosive safety; impact sensitivity