

文章编号: 1006-9941(2011)02-0209-04

模拟跌落撞击下 PBX-2 炸药的反应

代晓淦, 申春迎, 文玉史

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要: 为了研究带壳体约束条件下炸药的跌落安全性, 设计了模拟跌落试验装置。对 $\Phi 98$ mm \times 39 mm PBX-2 炸药进行了跌落试验, 采用 polyvinylidene fluoride (PVDF) 计测试了样品中的压力变化过程, 采用 PCB 加速度计获得了装置中不同位置的加速度变化过程, 通过高速录像照片分析了点火反应过程, 通过冲击波超压传感器测量了炸药的反应超压, 获得了不同速度跌落下炸药的响应过程。结果表明, 模拟跌落试验中 PBX-2 炸药的反应相对释放能约为 35%, 明显高于 Spigot 跌落试验; 建立的模拟跌落试验方法, 为评估炸药在异常环境下的安全性能提供了一条新的技术途径。

关键词: 爆炸力学; 炸药安全性; 跌落试验; 响应规律

中图分类号: TJ55; O389

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.02.019

1 引言

炸药在运输、贮存、使用等过程中可能遇到意外跌落等各种异常环境事故, 在这些异常刺激下, 炸药可能发生燃烧、爆炸等重大事故, 从而造成不可挽回的重大损失。因此, 国外极为重视炸药在跌落条件下的安全性, 先后建立了滑道试验、Spigot 跌落试验^[1], 主要模拟炸药药柱受跌落撞击时的反应, 用于评价炸药的安全性并为钝感炸药配方的研制、筛选和定型提供可靠依据。

目前, 国内也建立了滑道试验、Spigot 跌落试验方法^[2-3], 并开展了炸药响应的相关研究工作。在两种跌落试验中, 炸药件主要受代用材料的约束, 约束条件远低于钢制壳体, 难以模拟带壳炸药的跌落安全性。同时, 在炸药安全性研究中, 约束条件对炸药的反应程度有着重要的影响^[4-5], 因此, 模拟不同跌落状态下炸药的响应仍需深入研究。

因此, 为了研究带壳体约束条件下炸药的跌落安全性, 分析不同约束条件下炸药的跌落响应, 设计了模拟跌落试验装置, 研究分析了不同跌落速度下 PBX-2 炸药的响应过程, 为今后评估炸药在跌落状态下的安全性提供技术支撑。

2 模拟跌落试验原理及装置

试验时装有炸药件的模拟跌落试验装置跌落撞击到撞针上, 壳体受到撞针作用发生变形, 使壳体内部炸药受到撞击、挤压、剪切等作用, 导致炸药发生不同程度的反应。根据高速摄影图像、压力及加速度变化过程、空气冲击波超压、试验件残骸, 综合分析、评价炸药的跌落撞击感度。

考虑模拟带壳体约束条件下炸药件意外跌落撞击到凸台时的响应情况, 设计的模拟跌落试验装置如图 1 所示。钢壳厚 3.5 mm, 材料为 Q235 钢; PBX-2 炸药 (主要由 HMX 和黏结剂组成), 尺寸为 $\Phi 98$ mm \times 39 mm, 质量约为 540.8 g; 凸台撞针直径为 $\Phi 50$ mm, 高为 45 mm, 材料为 Q235 钢。设计的模拟跌落试验装置质量约为 21 kg, 与 Spigot 跌落试验装置质量基本一致, 试验过程中采用火药加速^[3]对跌落装置进行加载, 速度可达 $5 \sim 60$ m \cdot s⁻¹, 等效于最高自由跌落高度 180 m。

试验过程中主要采用高速摄影系统测量试验件撞靶前跌落速度、记录跌落试验件撞靶至点火爆炸的过程; 采用 PVDF 压力计测量撞击过程中炸药受力过程; 在试验装置内部放置 PCB 加速度传感器, 测量撞击过程中试验件的加速度变化过程; 在距离跌落撞击点 3 m 处放置四只冲击波超压传感器, 测量冲击波超压。

收稿日期: 2010-04-28; 修回日期: 2010-07-09

作者简介: 代晓淦(1978-), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事炸药安全性研究。e-mail: zhangy2005767@sina.com

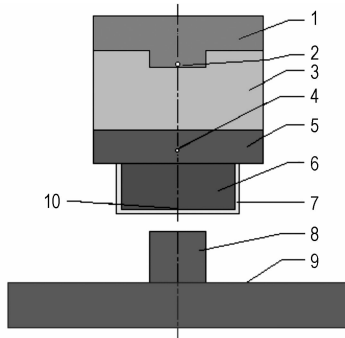


图1 模拟跌落试验装置示意图

1—配重块Ⅲ, 2—PCB 加速度计 I, 3—配重块Ⅱ, 4—PCB 加速度计Ⅱ, 5—配重块Ⅰ, 6—炸药, 7—钢壳, 8—凸台撞针, 9—靶板, 10—PVDF 压力计

Fig.1 Diagram of simulating drop test

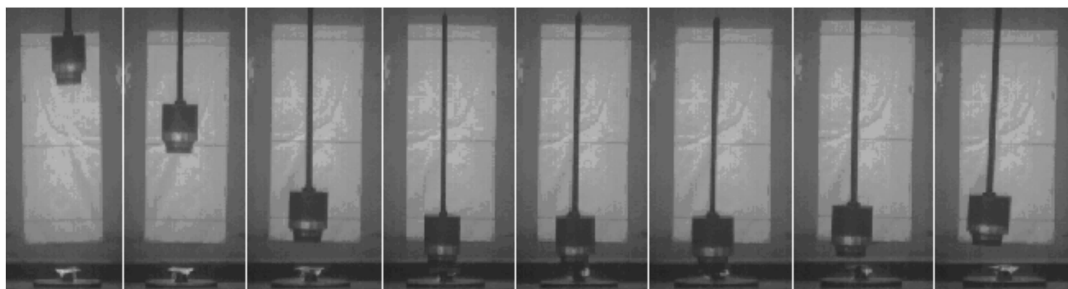
1—heavy weight Ⅲ, 2—PCB acceleration I, 3—heavy weight Ⅱ, 4—PCB acceleration Ⅱ, 5—heavy weight Ⅰ, 6—explosive, 7—steel shell, 8—gibbous firing pin, 9—target, 10—PVDF gauge

3 结果分析

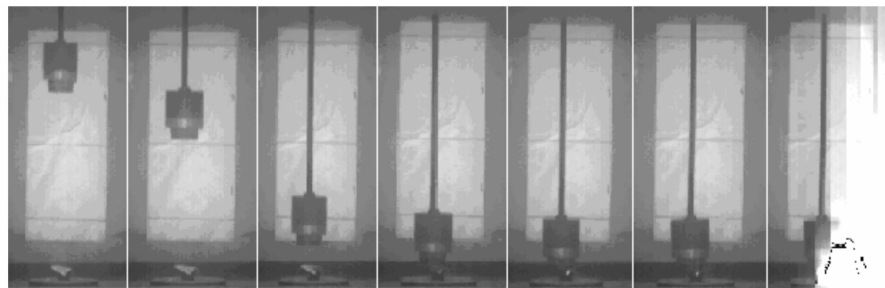
3.1 跌落速度对反应程度的影响

图2是模拟跌落试验过程高速录像照片。从图2可以看出跌落试验件撞击到凸台后继续运动,当速度为 $13.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,试验件运动一段时间后被反弹,未见有发光现象,表明此时试验件未发生反应;当速度为 $14.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,延迟一段时间后高速录像记录试验件有发光现象,表明此时试验件已发生了反应。

图3是模拟跌落试验结果照片。从图3可以看出,在速度高于 $13.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,跌落试验件撞击在凸台上,均发生了反应,几乎无剩余样品,钢壳被击穿,形成了与凸台直径一致的圆孔,表明在此处受到较强的剪切作用;在速度 $13.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,跌落试验件完好,在钢壳底部形成了凹痕,表明此时试验件未发生反应。



a. $v = 13.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 9000 fps



b. $v = 14.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 9000 fps

图2 模拟跌落撞击 PBX-2 炸药高速录像

Fig.2 Photographs of simulating drop for impacting PBX-2 explosive



$13.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$13.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$17.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$39.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

图3 模拟跌落试验中 PBX-2 炸药试验结果

Fig.3 Photographs of recover sample for PBX-2 in simulating drop test

参考 GJB772A -1997 中的算法^[6],绘制了模拟跌落试验与 Spigot 试验中 PBX-2 炸药相对释放能与弹速关系曲线,如图 4 所示。图中相对释放能是指每一发试验中发生爆炸 TNT 当量占炸药爆轰时的比例,可根据冲击波超压测试结果换算获得。试验过程中采用反应-不反应的方式,用区间逼近的方法,获得了炸药的跌落撞击反应速度阈值区间,结合试验结果(图 3)和图 4 可以初步推断在试验件跌落撞击凸台时 PBX-2 炸药跌落撞击反应速度阈值为 $13.8 \sim 14.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,随着跌落速度的增加,炸药的反应程度逐渐增强。从图 4 还可看出,模拟跌落试验中 PBX-2 炸药的反应程度明显高于 Spigot 试验。

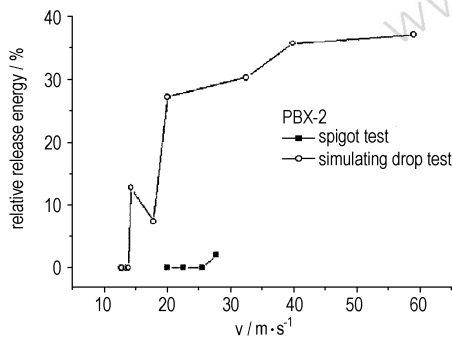


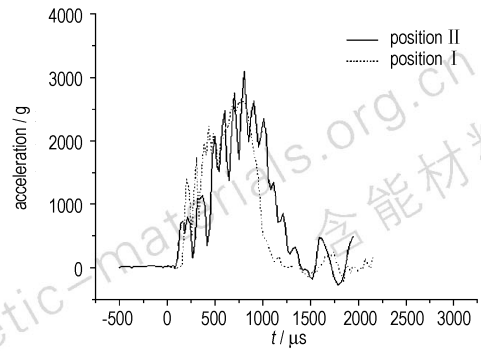
图 4 两种跌落试验中 PBX-2 炸药相对释放能-弹速关系曲线
Fig. 4 Curves of relative release energy versus projectile velocity for PBX-2 in two drop tests

3.2 撞击加速度变化过程

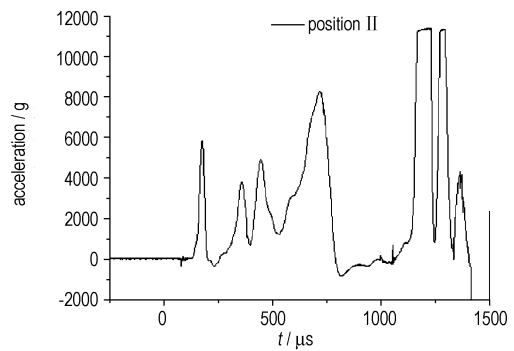
图 5 为模拟跌落试验过程中测试的两种典型加速度历程曲线(用以区分炸药未反应以及反应时对加速度历程的影响)。从图 5 中可以看出,当跌落试验件撞击凸台时,在速度 $12.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (图 5a)时,配重块 I 的 PCB 加速度计曲线表明在撞击后 $110 \mu\text{s}$ 开始出现变化,在 $760 \mu\text{s}$ 后达到最大值约 2500 g ,随后回到零点,整个过程持续约 $1200 \mu\text{s}$;配重块 II 中的 PCB 加速度计曲线表明在撞击 $30 \mu\text{s}$ 后开始变化,最大加速度和整个过程持续作用均与配重块 I 的加速度信号一致,两条曲线表明试验件未发生反应。在速度 $15.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (图 5b)时,配重块 I 的 PCB 加速度计曲线表明在撞击后 $100 \mu\text{s}$ 开始出现变化,随后达到约 4000 g ,在 $1100 \mu\text{s}$ 处发生跳变,达到约 11000 g ,表明试验件发生了反应。

3.3 压力变化过程

图 6 为模拟跌落试验过程中测试的两种典型受力历程曲线(用以区分炸药未反应以及反应时对受力历程的影响)。



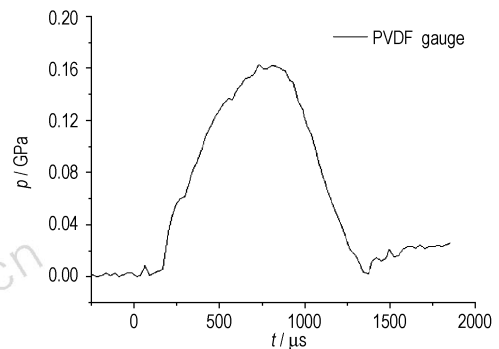
a. $v = 12.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$



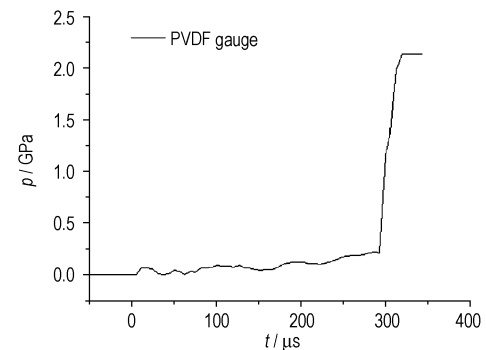
b. $v = 15.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

图 5 模拟跌落试验中测试的加速度历程曲线

Fig. 5 Curves of acceleration versus time in simulating drop test



a. $v = 12.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$



b. $v = 34.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

图 6 模拟跌落试验中测试的受力历程曲线

Fig. 6 Curves of pressure versus time in simulating drop test

从图6可以看出,当试验件撞击凸台时,在撞击后约10 μs 信号开始变化。在速度 $12.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (图6a) 时,样品撞击压力达到约0.01 GPa,随后压力持续上升,在约800 μs 后达到0.16 GPa,随后回到零点,整个过程持续约1200 μs ,表明样品未发生反应;在速度 $34.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (图6b) 时,样品撞击压力达到约0.07 GPa,随后压力持续上升,在约290 μs 后达到0.2 GPa,随后发生跳变,达到2.2 GPa,表明此时试验件发生了反应(加速度信号也表明试验件发生了反应)。

4 结论

模拟跌落试验中,PBX-2 炸药件跌落撞击凸台时,其撞击反应速度阈值为 $13.8 \sim 14.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,随着跌落速度的增加,炸药的反应程度逐渐增强。

PBX-2 炸药在模拟跌落试验中的反应程度高于 Spigot 试验,跌落撞击反应速度阈值明显低于 Spigot 试验,因此在跌落试验中约束条件对炸药的反应程度有显著的影响。

火药加速模拟跌落试验装置,速度可调,能模拟不同高度跌落、获得其撞击反应阈值及反应效应;设计不同质量跌落装置、不同形状撞针,能有效模拟不同跌落条件下炸药构件的响应过程,结合数值模拟分析实

际使用炸药件的跌落安全性能。

参考文献:

- [1] Conway. Defense nuclear facilities safety board technical report [R]. DNFSB/TECH-24; 1999.
- [2] 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.
- [3] 申春迎,向永,代晓淦. 高聚物黏结炸药的冲塞试验研究[J]. 火炸药学报,2010,33(2): 29-32.
SHEN Chun-ying, XIANG Yong, DAI Xiao-gan. Study on the spigot tests of polymer bonder explosive[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*,2010,33(2): 29-32.
- [4] 代晓淦,吕子剑,申春迎,等. 火烧试验中不同尺寸 PBX-2 的响应规律[J]. 火炸药学报,2008,31(3): 47-49.
DAI Xiao-gan, Lü Zi-jian, SHEN Chun-ying, et al. Study of reaction rule for different size PBX-2 explosives in fast cook-off test [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*,2008,31(3): 47-49.
- [5] 代晓淦,申春迎,吕子剑,等. 枪击试验中不同尺寸 PBX-2 炸药响应规律研究[J]. 含能材料,2008,16(4): 432-435.
DAI Xiao-gan, SHEN Chun-ying, Lü Zi-jian, et al. Study of reaction law for different size PBX-2 explosives in bullet impact test [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2008,16(4): 432-435.
- [6] GJB772A-1997. 炸药试验方法[S]. 国防科学技术工业委员会,1997: 245-246.
GJB772A-1997. Explosive test method[S]. National Defense Technology and Industry Committee,1997: 245-246.

Reaction of PBX-2 Explosive under Simulated Drop Impact

DAI Xiao-gan, SHEN Chun-ying, WEN Yu-shi

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

Abstract: A device of simulating drop test was designed to study the safety drop of $\Phi 98 \text{ mm} \times 39 \text{ mm}$ PBX-2 explosive under the shell confinement. The pressure change was measured by PVDF gauges. Acceleration change at two positions were obtained by PCB acceleration gauges. Ignition process was analyzed by high-speed motion pictures. The reaction overpressure was measured by blast pressure gauges. Reaction of explosive was obtained from different velocity fragment impacts. Results show that the relative release energy for PBX-2 explosive is about 35%, which is higher remarkably than that in Spigot test, and the test established to simulate drop can provide a new means to evaluate explosive safety under the unexpected scenarios.

Key words: mechanics of explosion; explosive safety; drop test; reaction rule

CLC number: TJ55; O389

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.02.019