

文章编号: 1001-1455(2006)04-0381-04

大药片落锤撞击感度研究*

代晓淦, 向 永, 申春迎, 吴小勇

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要: 设计建立了一种炸药大药片撞击感度试验方法, 落锤质量为 20 kg、落高度为 0~15 m, 对规格 $\varnothing 20 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 、重约 2.8 g 的大药片进行撞击感度测试。试验测试了两种典型炸药 Tetryl 和 JOB-9003 炸药的落锤撞击感度, 落锤撞击 Tetryl 炸药和 JOB-9003 炸药的爆炸阈值落高分别约 3.5 m 和 6.5 m。对落锤撞击 JOB-9003 炸药样品的过程进行了数值计算, 计算结果与试验值相符。试验结果表明, 该试验方法可以测量炸药的落锤撞击感度。

关键词: 爆炸力学; 撞击感度; 落锤; 大药片

中图分类号: O381; TQ560.7

国标学科代码: 130 · 3510

文献标志码: A

1 引言

炸药的安全性能是保证炸药研究、生产、运输、装药、加工、使用和储存安全的重要特性。武器中炸药部件的安全性能研究非常重要, 已建立了许多炸药安全性能试验方法, 如药片撞击感度、苏珊试验、跌落试验等。目前, 在药片感度研究方面, 多数在以百毫克量级左右。由于炸药药量小, 对于评估某些炸药部件的撞击安全性仍比较困难。

本文中介绍了一种新的试验方法, 试验以相对较大的炸药药片 (500 mg~5 g) 为研究对象, 有别于现有的落锤仪感度测试方法 (以造型粉为研究对象)、苏珊试验药柱撞击感度测试 ($\varnothing 50 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 左右的药柱), 药片药量可以从百毫克量级增加到克量级 (如 200 mg、3 g 等), 加载条件可以从 5~30 kg 落锤, 落高可达到 15 m, 主要模拟炸药落地撞击和受到其他物体的低速撞击时的安全性能, 为预测炸药的安全性能提供接近实际的基础性研究数据。

2 试验

2.1 试验装置

大药片落锤撞击试验示意图如图 1 所示, 将 $\varnothing 20 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 炸药片安装在落锤的下部 (落锤撞击装置示意图见图 2), 落锤用钢丝绳吊装在释放装置上, 用提升装置将落锤及释放装置一同提升到预定高度, 然后释放落锤, 锤体下落与地面钢靶相撞, 炸药受到撞击挤压可能发生爆炸反应, 通过高速录像和爆炸超压测量判

断炸药是否发生爆炸反应, 检测炸药发生爆炸反应的阈值区间, 从而评价炸药的感度。

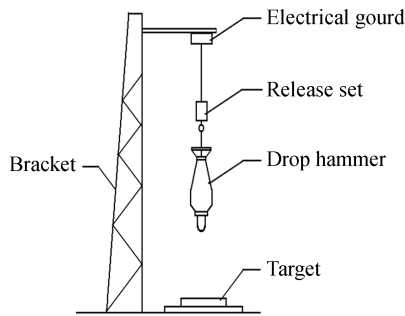


图 1 大药片落锤撞击试验示意图
Fig. 1 Configuration of drop hammer impact test

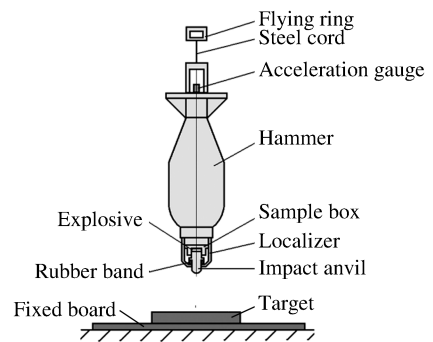


图 2 落锤撞击装置示意图
Fig. 2 Configuration of drop hammer impact set

* 收稿日期: 2005-05-13; 修回日期: 2005-06-29

作者简介: 代晓淦 (1978—), 男, 硕士。

2.2 试验测试

采用高速录像机,拍摄落锤撞靶过程,主要观测落锤头部撞击靶板时的速度形态及爆炸反应情况。用自由场冲击波超压传感器测量炸药反应爆炸空气冲击波超压,距离撞击点约 1 m,高度约 70 cm,试验中采用了四只 YD-202 型自由场空气冲击波传感器。将 YD-115 型加速度计安装在落锤尾部,测量落锤撞击时锤体的加速度。加速度计的最大量程为 100 km/s²。

3 试验结果

3.1 落锤撞击点火过程

图 3 是落锤在 7.5 m 落高下撞击 JOB-9003 药片时爆炸情况的录像(9 000 s⁻¹)。从图 3 可看出,从第 1 幅到第 7 幅为落锤撞击过程,落锤击柱与靶面垂直撞击,落锤击柱撞靶前后没有明显的偏斜,表明落锤撞击姿态达到了设计要求;从第 8 幅击柱撞击到靶面到第 14 幅后(约 0.8 ms)出现爆炸火光,表明此时炸药发生点火反应。

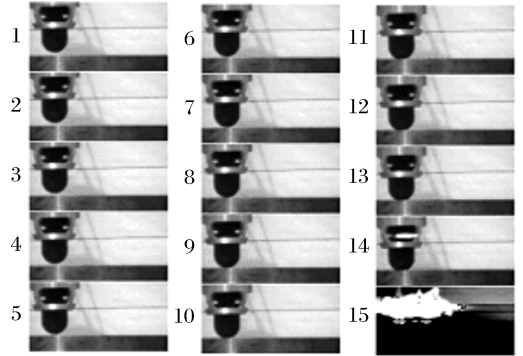


图 3 落锤撞击 JOB-9003 药片的爆炸情况的录像
Fig. 3 Ignition pictures of JOB-9003 impacted by a drop hammer with a high-speed camera

3.2 两种炸药的落锤撞击感度

分别对特屈儿药片和 JOB-9003 药片进行了试验(见图 4)。可以看出特屈儿药片和 JOB-9003 药片爆炸反应的阈值高度分别在 3.5 和 6.5 m 左右。

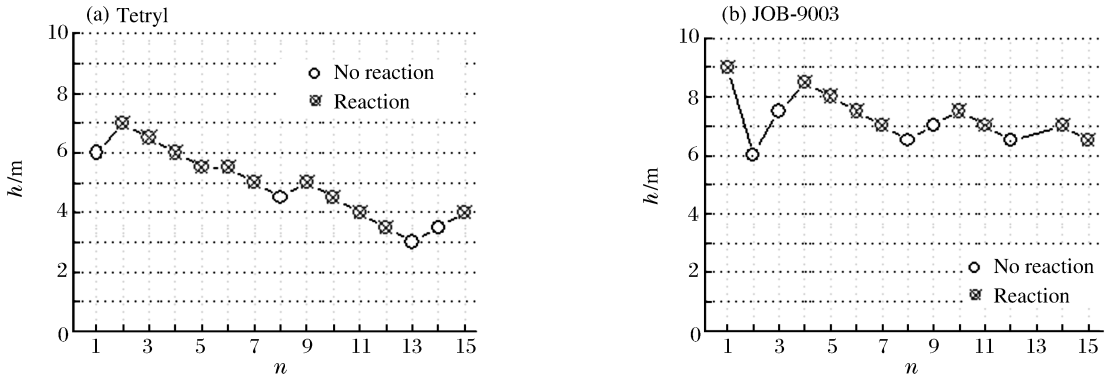


图 4 落锤撞击特屈儿药片和 JOB-9003 的爆炸情况
Fig. 4 The ignition of Tetryl and JOB-9003 after drop hammer impact

3.3 两种炸药的爆炸超压

图 5 是落锤撞击 JOB-9003 药片和 Tetryl 药片的爆炸超压与落高关系图。利用萨道夫地面爆炸公式

$$\Delta p = 0.084 \frac{\sqrt[3]{2W}}{R} + 0.27 \left(\frac{\sqrt[3]{2W}}{R} \right)^2 + 0.7 \left(\frac{\sqrt[3]{2W}}{R} \right)^3$$

式中: Δp 为空气冲击波超压(MPa), W 为 TNT 炸药量(kg), R 为距爆心距离(m)。

计算 2.8 g TNT 炸药完全爆轰时在 1 m 处的超压约有 27.35 kPa。从图中可以看出 JOB-9003 炸药在不同落高下的爆炸超压区间在 14~23 kPa, Tetryl 炸药片爆炸超压区间在 13~24 kPa,均小于

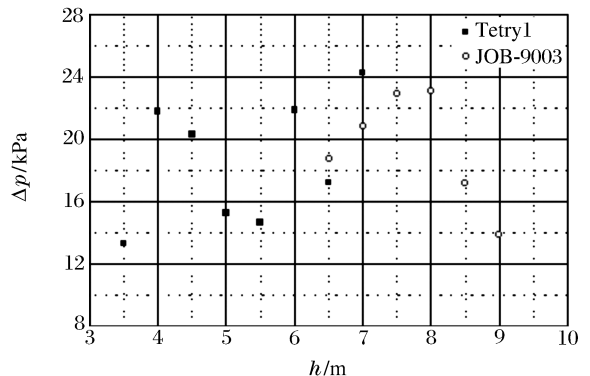


图 5 爆炸超压与落高关系
Fig. 5 Blast overpressures versus drop height

2.8 g TNT 炸药完全爆轰时的超压,在 2.8 g TNT 炸药完全爆轰时超压值一半以上,表明这两种炸药大部分都参与反应;同时 Tetryl 炸药片在撞击落高 3.5 m 处就有超压,JOB-9003 炸药片在撞击落高 6.5 m 处才有超压,表明 Tetryl 炸药明显比 JOB-9003 炸药敏感。炸药片在试验中的爆炸超压与落高没有明显的线性关系,试验中炸药没有发生爆炸时没有超压,发生爆炸时均有明显的超压,因此该试验用超压判断炸药是否发生反应非常有效。

4 数值模拟

采用有限元程序 ANSYS/LS-DYNA 对装有 JOB-9003 药片的落锤撞击过程进行二维数值计算,使用弹塑性材料模型进行建模,计算了炸药的力学响应。采用 1 mm×1 mm 网格,简化的模型见图 6 所示,选取的计算加速度点位于锤体顶部,使用参数见表 1。

由于实际试验在撞击过程中加速度计自身产生谐振,因此测量信号与谐振信号混杂在一起,分析比较困难,需采用数字平滑技术将信号进行平滑处理得到一条比较光滑的加速度信号。图 7 是测得的试验加速度信号与计算的加速度对比,从图中可以看出计算结果与试验符合较好,试验最大加速度为约 4 km/s²,由此推算在此处最大受力为约 80 kN,因此由于衰减作用导致在药片上的受力应大于 80 kN,则作用在炸药片上的最大应力应大于 250 MPa。

表 1 材料参数表

Table 1 Material parameters

材料	$\rho/(g/cm^3)$	Y/MPa	E/GPa	ν
特种钢(击柱、样品池)	7.85	405	214.0	0.24
钢(锤体、靶板)	7.85	235	210.0	0.26
炸药(JOB-9003)	1.84	45	10.0	0.30

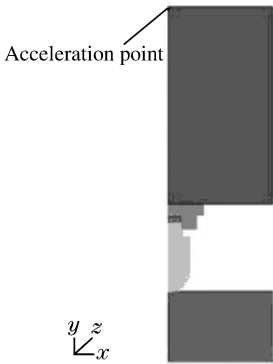


图 6 大药片跌落撞击模型

Fig. 6 The model of big-bill impact

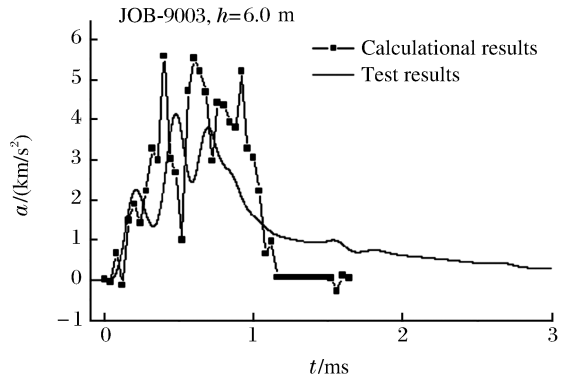


图 7 加速度计算值与试验值对比

Fig. 7 Comparison of calculation and test accelerations

装有 JOB-9003 炸药片的落锤撞击后靶板上形成的凹坑深度部分数据见表 2,模拟的两发未反应试验坑深结果见图 8,从图中可以看出计算结果与试验值相符。

选用与击柱接触炸药面中心和半径 10 mm(炸药边缘)处的位置进行受力分析,见图 9 所示。

从图 9 可知炸药片表面在撞击过程中受力均匀,在跌落撞击后 1 ms 达到最大压力为约 500 MPa,压力高于 Susan 试验模拟所得出的压力^[1](Susan 试验中在 125m/s 撞击下计算炸药最大受力为约 130 MPa);整个撞击过程持续时间为约 2 ms,大于 Susan 试验和 Steven 试验弹丸作用时间(二者弹丸作用时间不到 1 ms)。大药片跌落撞击试验压力较高的可能原因是由于击柱撞击药片时力均匀作用在药片上,不会在某一点形成应力集中,导致需要更大的压力和作用时间。这些均表明在大药片落锤撞击试验中需要更强的刺激才能引发炸药点火,说明在此种情形下密闭的炸药比无约束的装药较安全,与孙业斌的研究结果^[2]相一致。

表 2 靶板凹坑深度

Table 2 The hole depth of the target

h/m	效果	d/mm
6.0	未反应	2.66
7.0	反应	2.81
7.5	未反应	2.72
7.5	反应	3.30
9.0	反应	3.45

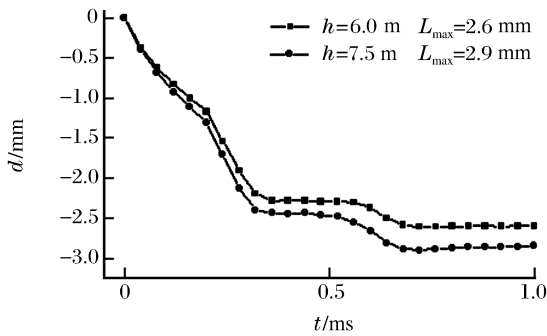


图8 计算的撞击坑深变化图

Fig. 8 Calculation depth of the hole after impact

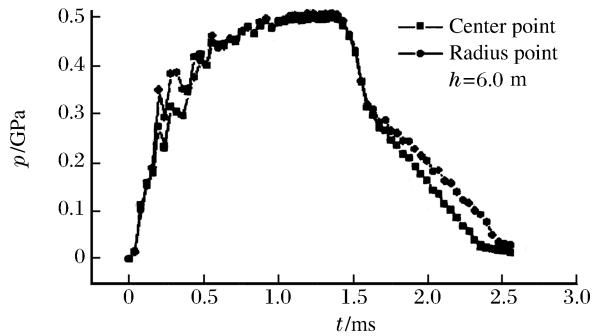


图9 计算的JOB-9003炸药片受力过程

Fig. 9 Calculation pressure of JOB-9003 explosive

5 结论

(1) 采用的炸药大药片撞击感度试验方法, 落锤质量 20 kg、跌落高度在 0~15 m, 可进行规格 $\varnothing 20$ mm \times 5 mm 的大药片撞击感度测试; 通过超压和样品残骸结合高速摄影判断炸药的爆炸现象, 通过测量落锤撞击靶面时的加速度估算炸药的受力过程。(2) 试验测试了两种典型炸药的落锤撞击感度, 落锤撞击 Tetryl 炸药和 JOB-9003 炸药的爆炸阈值落高分别约 3.5 m 和 6.5 m, 结果表明, 该试验方法可以测量炸药的落锤撞击感度。(3) 对炸药受力过程进行了初步的数值计算, 计算结果与试验基本相符。

参考文献:

- [1] 代晓淦, 韩敦信, 向永, 等. 苏珊试验中弹体形变的测量和模拟计算[J]. 含能材料, 2004, 12: 235-238.
DAI Xiao-gan, HAN Dun-xin, XIANG Yong, et al. The measurement and numerical simulation of the projectile deformation in Susan test[J]. *Energetic Materials*, 2004, 12: 235-238.
- [2] 孙业斌. 撞击作用下成型炸药安全性试验研究(II)[J]. 火炸药学报, 1996(3): 12-14.
SUN Ye-bin. Study of explosive safety under impact (II)[J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 1996 (3): 12-14.

Study of drop hammer impact sensitivity for big-bill explosives

DAI Xiao-gan^{*}, XIANG Yong, SHEN Chun-ying, WU Xiao-yong
(*Institute of Chemical Materials, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, Sichuan, China*)

Abstract: A method of drop hammer impact sensitivity test for big-bill explosive was developed. The weight of the hammer was 20 kg and the drop height was between 0 ~ 15 m. The size of big-bill explosive was $\varnothing 20$ mm \times 5 mm and its weight was 2.8 g. Tetryl and JOB-9003 explosives were tested. The threshold heights of ignition for two explosives were 3.5 and 6.5 m respectively. The course of impact for JOB-9003 was simulated. The calculational result well agreed with the test. The test results show this test method can be used to measure the drop hammer impact sensitivity for explosives.

Key words: mechanics of explosion; impact sensitivity; drop hammer; big-bill explosive

^{*} Corresponding author: DAI Xiao-gan
E-mail address: wuxy99011@sina.com
Telephone: 0816-2485366