

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2014.06.002

装药条件对 B 炸药落锤撞击响应的影响研究*

赵 娟 徐洪涛 冯晓军

西安近代化学研究所(陕西西安,710065)

[摘 要] 采用自行研制的药柱撞击感度试验装置,对 B 炸药在不同装药尺寸、装药密度和装药状态下的撞击响应进行了试验研究,探讨了不同装药条件对其落锤撞击响应的影响规律,分析了产生原因。结果表明:对于 B 炸药,在相同直径条件下,起爆阈值随着药柱厚度的增大而增大;接近理论密度时,撞击感度对装药密度的变化并不敏感;撞击刺激下不同物态的响应敏感性有显著差异,药粉感度远大于药柱感度。

[关键词] B 炸药;撞击感度;装药条件

[分类号] TQ560.7

引言

炸药在生产、运输以及使用过程中不可避免地会产生摩擦、撞击等机械作用,在这些刺激下的安全性能与其机械感度息息相关^[1-2]。撞击感度作为衡量炸药安全性能的一项重要指标,受到了国内外学者的广泛关注,为了同时满足炸药的钝感化与高能化,常通过改变装药条件来控制其物理性能^[3-7]。因此,研究装药条件对炸药撞击敏感性的影响具有重要意义,可以为解决炸药高能与安全可靠性之间的矛盾提供指导与依据。然而,传统的炸药撞击感度试验只能是毫克级的药粉,在实际应用中已经发现药粉的感度与药柱的感度存在差异,仅依据粉状的感度来评价该类物质的安全性难以令人信服^[8-10]。

本文采用自行研制的药柱撞击感度试验装置,对 B 炸药在不同装药尺寸、装药密度和装药状态下的撞击响应进行了试验研究,分析试验结果,得到其在不同装药条件下的响应规律,为以后预估其安全性能奠定了基础。

1 试验

1.1 样品制备

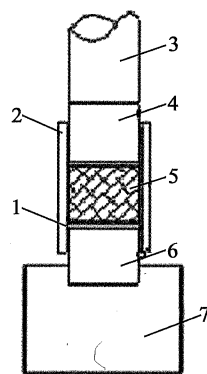
为了研究装药尺寸对 B 炸药撞击响应的影响,制备了 $\varnothing 20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 、 $\varnothing 20\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 、 $\varnothing 20\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ 3 种不同尺寸的 B 炸药药柱。为了研究装药密度对 B 炸药撞击感度的影响,分别制备了密度为 1.687 g/cm^3 和 1.597 g/cm^3 的药柱,装药尺寸均为 $\varnothing 20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 。为了研究装药状态对 B 炸药撞击感度的影响,选取相同质量的 B 炸药药粉和药

柱进行试验。

1.2 试验装置及测试方法

试验采用自行研发的火炸药药柱撞击感度试验系统,测定固体成型火炸药的撞击感度^[11]。该系统主要包括 4 大部分:落锤装置、控制系统、防爆小室和气敏检测系统。落锤装置可以通过工控机对落锤的位置、下落和上升进行控制;控制系统利用上位机远程控制 PLC 来完成自动试验过程;防爆小室是落锤装置的基座;气敏检测系统结合声响和试样残留情况对反应结果作出合理判断。

将火炸药试样按图 1 所示进行装配,用 10 kg 重锤从某一落高对试样进行撞击,如果在这一高度出现反应,则停止试验,而在较低的一个落高进行试验,直到 3 次试验均不发生爆炸。如果此次试验均



1 - 砂纸;2 - 塑料套管;3 - 击杆;4 - 上击柱;
5 - 试样;6 - 下击柱;7 - 击砧

图 1 试样装配结构图

Fig. 1 Sample assembly drawing

* 收稿日期:2014-05-15

基金项目:火炸药燃烧国防科技重点实验室基金项目(9140C350408110C3507)

作者简介:赵娟(1988~),女,硕士,研究方向为爆轰化学反应研究。E-mail: canghaiyisu_zj@126.com

不发生爆炸,则增加落高直至出现爆炸。3 次试验均不发生爆炸的最大落高即为试样的爆炸下限。若 10 kg 重锤不能刺激样品发生反应则加大锤重。

如需测试样品在撞击过程中的受力变化,则在试样底表面安装测力传感器,测量试样的受力过程。

2 结果与讨论

2.1 装药尺寸的影响

2.1.1 撞击感度试验

为研究不同尺寸 B 炸药在落锤刺激下的区别,所用药柱的规格分别为 $\varnothing 20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 、 $\varnothing 20\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 和 $\varnothing 20\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ 3 种尺寸,试验结果见表 1。

由表 1 所列的结果可以看出,相同直径条件下,随着厚度的增加,B 炸药起爆阈值明显增大。在落锤撞击试验中,试样受到塑料套管的约束,撞击下试

表 1 装药尺寸与撞击感度的关系

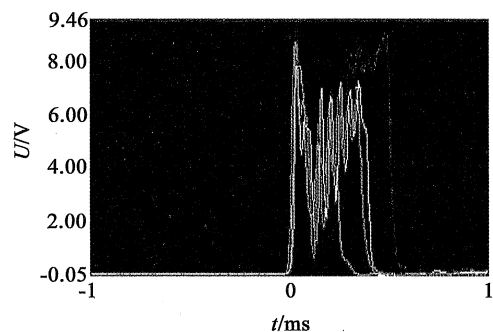
Tab. 1 Relation of charge size and impact sensitivity

试样尺寸/mm × mm	锤质量/kg	临界落高/mm
$\varnothing 20 \times 20$	30	800
$\varnothing 20 \times 10$	30	600
$\varnothing 20 \times 5$	30	500

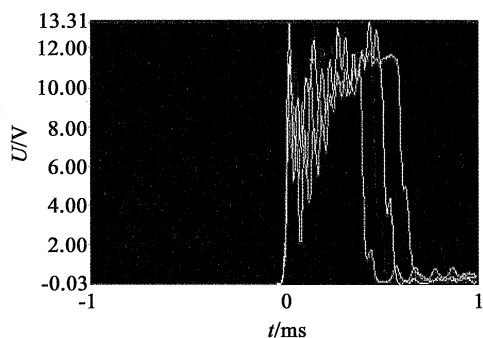
样受压比较均匀,上端面外缘应力集中,是最可能发生点火的区域。药柱加长后,撞击力能得到更好的缓冲,因此感度降低。

2.1.2 撞击受力试验

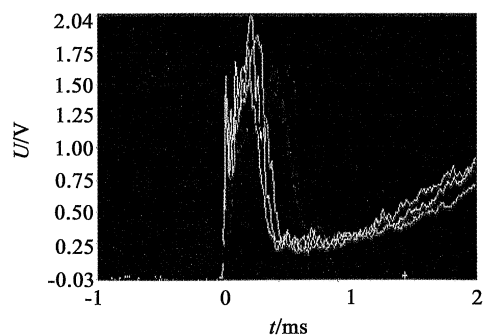
对 B 炸药进行撞击受力试验,药柱尺寸分别为 $\varnothing 20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 、 $\varnothing 20\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 和 $\varnothing 20\text{ mm} \times 5\text{ mm}$,受力曲线见图 2,试验结果见表 2。图 2(a) 为



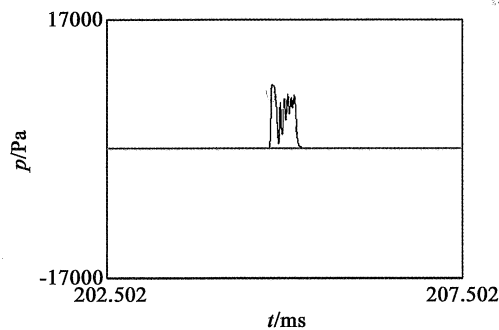
(a) $\varnothing 20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 药柱的测量曲线



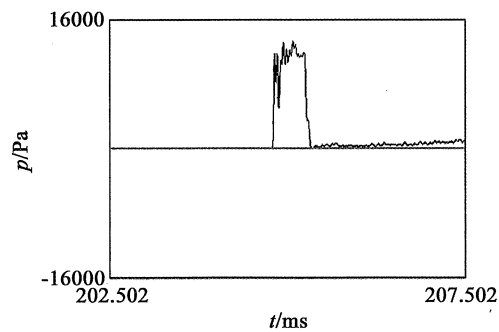
(c) $\varnothing 20\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 药柱的测量曲线



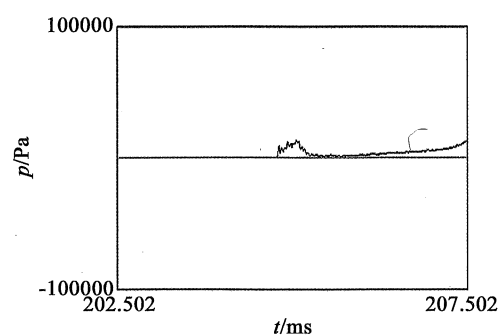
(e) $\varnothing 20\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ 药柱的测量曲线



(b) $\varnothing 20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 药柱的压力时程曲线



(d) $\varnothing 20\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 药柱的压力时程曲线



(f) $\varnothing 20\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ 药柱的压力时程曲线

图 2 不同尺寸 B 炸药受力曲线

Fig. 2 Stress curves of composition B with different sizes

表 2 不同尺寸 B 炸药受力试验数据

Tab. 2 Experimental stress data of composition B with different sizes

试样尺寸/ mm × mm	密度/ (g · cm ⁻³)	锤质量/ kg	落高/ mm	压力峰 值/Pa	压力上升 时间/μs
Ø20 × 20	1.688	30	300	9 468	22
Ø20 × 20	1.686	30	300	8 687	21
Ø20 × 20	1.688	30	300	11 500	18
Ø20 × 20	1.687	30	300	8 062	18
Ø20 × 20	1.687	30	300	8 656	20
Ø20 × 10	1.693	30	300	13 312	20
Ø20 × 10	1.693	30	300	11 031	20
Ø20 × 10	1.693	30	300	13 312	19
Ø20 × 10	1.693	30	300	13 249	19
Ø20 × 5	1.689	30	300	16 567	21
Ø20 × 5	1.680	30	300	19 061	18
Ø20 × 5	1.678	30	300	21 249	18
Ø20 × 5	1.681	30	300	20 624	20
Ø20 × 5	1.682	30	300	18 130	20

Ø20 mm × 20 mm 药柱的多发测量曲线,图 2(b)为其中一发经数据处理后的压力时程曲线,压力峰值为 8 687 Pa。图 2(c)为 Ø20 mm × 10 mm 药柱的多发测量曲线,图 2(d)为其中一发的压力时程曲线,压力峰值为 13 312 Pa。图 2(e)为 Ø20 mm × 5 mm 药柱的多发测量曲线,图 2(f)为其中一发的压力时程曲线,压力峰值为 21 249 Pa。

图 2 可以看出,同种规格试样的多发试验中,受力曲线的波动趋势基本一致,但是输出幅值有较大差异。目前采用的 B 炸药由于化学成分及晶体取向的差异,晶粒的弹性模量并不一致,这就意味着外部施加的应力或内部产生的应力,在两个晶粒内会产生不同的弹性应变,从而导致局部的高应力,并通过材料的裂纹及碎裂加以释放,所以撞击受力过程重复性较差。通过波形可以将受力过程分为 3 个阶段:首先,有一持续时间较短的尖峰,分析认为样品发生了脆弹性损伤;其次,有一段压力上升区,且信号抖动较大,样品发生非线性塑性损伤;最后一段压力下降区为样品的应变软化^[12-13]。此外,Ø20 mm × 5 mm 药柱在试验过程中均发生微量燃烧。

分析表 2 可知,相同直径条件下,随着厚度的减小,样品受力曲线的幅值明显加大,从受力角度印证了试样的撞击感度随厚度的减小而增大。

2.2 装药密度的影响

为研究装药密度对撞击感度的影响,选取不同密度的 B 炸药进行撞击感度试验研究,装药尺寸为

Ø20 mm × 20 mm,装药密度分别为理论密度的 91% 和 96%。试验结果见表 3,试验前后样品 SEM 照片见图 3、图 4。

表 3 装药密度与撞击感度的关系

Tab. 3 Relation of charge density and impact sensitivity

样品	密度/ (g · cm ⁻³)	锤质量/ kg	临界落高/ mm
B 炸药(91% ρ_T)	1.597	30	800
B 炸药(96% ρ_T)	1.687	30	800

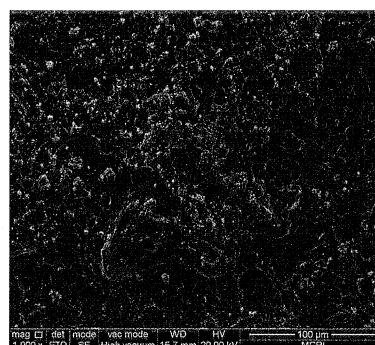
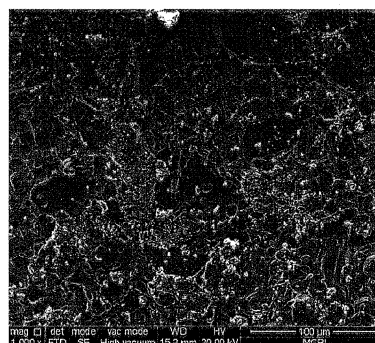
(a) 91% ρ_T (b) 96% ρ_T

图 3 试验前 B 炸药的 SEM 图

Fig. 3 SEM images of composition B before the experiment

根据表 2 可知,91% 理论密度和 96% 理论密度的两种药柱临界落高均为 800 mm,可见,在接近理论密度时,装药密度的微小变化并未使药柱的撞击感度产生显著差异。

观察图 3 中两张扫描电镜图,在大颗粒周围附着着许多的小颗粒,大颗粒为 RDX,小颗粒为 TNT,两种药柱无明显差异,试验前样品均存在一定的初始裂纹。图 4 显示撞击后试验样品,两种密度的 B 炸药中晶体颗粒都发生了破碎,在落锤撞击中多是沿晶断裂,而穿晶断裂较少。试验后样品均为整体破碎,破碎程度较为近似。由此进一步证明了在落锤撞击下,当样品接近理论密度时,其撞击感度对装药密度的变化并不十分敏感。

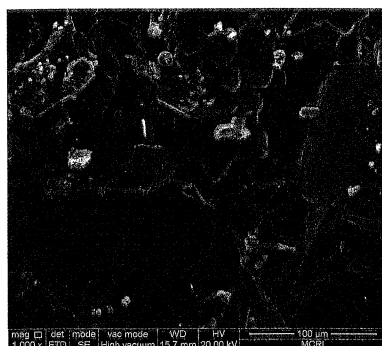
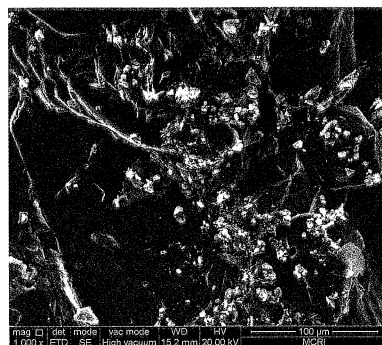
(a) 91% ρ_T (b) 96% ρ_T

图 4 试验后 B 炸药的 SEM 图

Fig.4 SEM images of composition

B after the experiment

分析认为,对于接近理论密度的药柱,其密度较高,孔隙率很小,颗粒之间较为密实,对撞击力的缓冲作用较小,孔隙率的改变对热点的形成影响也不大,因此,密度变化对 B 炸药撞击感度的影响作用已经不明显^[14-15]。

2.3 装药状态的影响

分别使用 10 g B 炸药药粉、10 g B 炸药药柱进行了装药状态的试验研究,试验结果见表 4。

表 4 装药状态与撞击感度的关系

Tab.4 Relation of charge state and impact sensitivity

试样状态	锤质量/kg	临界落高/mm
药粉	30	300
药柱	30	800

由表 4 可以看出,2 种不同物态下 B 炸药的起爆阈值有着明显的差异,得到其撞击感度的高低顺序为:药粉 > 药柱,这说明一种含能材料的低速撞击危险性和其所处的状态及环境有着密切联系。

对于 B 炸药药粉,结构较为蓬松,炸药中本来就存在许多的微小气泡或者空气间隙,在受到撞击时,还可能会带入外界的气体形成气泡。在机械作用下,气泡受到绝热压缩时温度会升高,容易形成热

点,因而撞击感度较高^[16-18]。另外,药粉在受到撞击时,颗粒之间发生相对滑动,会发生更多的摩擦作用,从而产生热点,再发展成为爆炸。

制成药柱的 B 炸药,内部气泡量大大减少,而且降低了炸药晶体间产生裂纹、错动、摩擦的可能性,减少了提供给热点的能量,导致绝热压缩气泡和摩擦形成热点的难度都明显高于药粉,因此起爆阈值显著升高。

3 结论

1) 在相同直径条件下,随着 B 炸药药柱厚度的增加,撞击力得到缓冲,火炸药药柱起爆阈值随之增大。

2) 在低速撞击下,当 B 炸药接近理论密度时,其装药密度的变化对撞击感度并无明显的影响。

3) 不同状态下,B 炸药撞击感度有着显著差异,药粉感度远大于药柱感度。

参考文献

- [1] 于占龙, 吴晓青. 炸药撞击感度试验的研究[J]. 安徽化工, 2003, 29(2):20-22.
Yu Zhanlong, Wu Xiaoping. Study on the explosive impact sensitivity[J]. Anhui Chemical Industry, 2003, 29(2):20-22.
- [2] 江剑, 孔德仁, 王昌明, 等. 基于虚拟仪器的撞击感度测试系统[J]. 火炸药学报, 2005, 28(4):14-17.
Jiang Jian, Kong Deren, Wang Changming, et al. Impact sensitivity test system based on virtual instrument[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2005, 28(4):14-17.
- [3] 胡庆贤. 炸药感度评价方法的探讨[J]. 含能材料, 2000, 8(3):127-129.
Hu Qingxian. An investigation of evaluation method on explosives sensitivity[J]. Energetic Materials, 2000, 8(3):127-129.
- [4] 花成, 张盛国, 汤业朋. 炸药作用可靠度估计与研究[J]. 含能材料, 2004, 12(增刊 2):548-550.
Hua Cheng, Zhang Shengguo, Tang Yepeng. Study on the evaluation of explosive reliability[J]. Energetic Materials, 2004, 12(suppl. 2):548-550.
- [5] Dubovik A V. Analysis of standard indices of impact sensitivity of solid explosives[J]. Doklady Physical Chemistry, 2007, 415(2):218-220.
- [6] Licht H-H. Performance and sensitivity of explosives[J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 2000, 25(3):126-132.
- [7] Huey J R, Sorensen K L, Singhose W E. Useful application of closed-loop signal shaping controllers[J]. Control Engineering Practice, 2008, 16(7):836-846.
- [8] 袁俊明, 张庆明, 刘彦. 炸药感度测试兰利法与升降

- 法比较研究[J]. 含能材料, 2008, 16(1):86-89.
- Yuan Junming, Zhang Qingming, Liu Yan. Comparison study on langlie method and up-and-down method for sensitivity test of explosive[J]. Chinese Journal Energetic Materials, 2008, 16(1):86-89.
- [9] 代晓淦, 向永, 申春迎, 等. 大药片落锤撞击感度研究[J]. 爆炸与冲击, 2006, 26(4):381-384.
- Dai Xiaogan, Xiang Yong, Shen Chunying, et al. Study of drop hammer impact sensitivity for big-bill explosives[J]. Explosive and Shock Waves, 2006, 26(4):381-384.
- [10] Keshavarz M H, Shokrolahi A, Esmailpoor K, et al. Recent developments in predicting impact and shock sensitivities of energetic materials[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2008, 16(1):113-120.
- [11] 徐洪涛, 孔德仁, 胡宏伟, 等. 火炸药药柱撞击感度试验装置及方法[J]. 火炸药学报, 2010, 33(3):30-33.
- Xu Hongtao, Kong Deren, Hu Hongwei, et al. Impact sensitivity test system and test method of explosives column[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2010, 33(3):30-33.
- [12] 金韶华, 王伟, 松全才. 含能材料机械撞击感度判据的认识和发展[J]. 爆破器材, 2006, 35(6):11-14.
- Jin Shaohua, Wang Wei, Song Quancai. Understanding and development of criteria of impact sensitivity of energetic materials[J]. Explosive Materials, 2006, 35(6):11-14.
- [13] 代晓淦, 向永. 两种塑料粘(黏)结炸药的 Steven 试验及撞击感度研究[J]. 含能材料, 2006, 14(1):38-41.
- Dai Xiaogan, Xiang Yong. Steven test and impact sensitivity for two explosives[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2006, 14(1):38-41.
- [14] 徐瑞娟, 罗宏, 王新锋, 等. 改性 B 炸药中添加剂的作用机理[J]. 火炸药学报, 2003, 26(2):5-7.
- Xu Ruijuan, Luo Hong, Wang Xinfeng, et al. Effect of additives on the modified composition B[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2003, 26(2):5-7.
- [15] 王世英, 胡焕性. B 炸药装药发射安全性落锤模拟加载实验研究[J]. 爆炸与冲击, 2003, 23(3):275-278.
- Wang Shiying, Hu Huanxing. Drop hammer simulation study on launch safety of composite B[J]. Explosive and Shock Waves, 2003, 23(3):275-278.
- [16] 王作山, 张景林. 纳米 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 对 HMX 撞击感度的影响[J]. 含能材料, 2005, 13(1):10-12.
- Wang Zuoshan, Zhang Jinglin. Influence of nanometer- Al_2O_3 on the impact sensitivity of HMX[J]. Energetic Materials, 2005, 13(1):10-12.
- [17] 王金英, 柴涛, 张景林, 等. PBX 传爆药撞击感度影响因素的研究[J]. 华北工学院学报, 2004, 25(4):290-292.
- Wang Jinying, Chai Tao, Zhang Jinglin, et al. Study on the influence factors of impact sensitivity of PBX booster[J]. Journal of North China Institute of Technology, 2004, 25(4):290-292.
- [18] 聂福德, 杨雪海, 张凌, 等. HMX/TATB 基 PBX 的感度与表面形态的关系探索[J]. 火炸药学报, 2001, 24(3):20-21, 19.
- Nie Fude, Yang Xuehai, Zhang Ling, et al. The sensitivity and the surface characterization of HMX/TATB-based PBX[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2001, 24(3):20-21, 19.

Effects of Charge Conditions on the Drop Hammer Impact Response of Composition B

ZHAO Juan, XU Hongtao, Feng Xiaojun

Xi'an Modern Chemistry Research Institute (Shaanxi Xi'an, 710065)

[ABSTRACT] In order to investigate the influence of charge size, charge density and state of charge on impact response of composition B, the impact sensitivity of composition B was researched by a self-developed impact device. Effects of charge conditions on the low-velocity impact response of composition B were discussed. The causes of the influence rules were also analyzed. The results suggest that, with the same diameter, the shock threshold of composition B was increased with the increasing of grain thickness. It was also found that the impact sensitivity was not sensitive to the change of charge density when it approaches to the theoretical density. Moreover, the impact sensitivity of different states presents a remarkable difference that the impact sensitivity of powder is all far over the impact sensitivity of grain.

[KEY WORDS] composition B; impact sensitivity; charge conditions