

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2015.01.004

低速撞击不同温度下炸药药柱的响应特性^{*}

徐洪涛 冯 博 冯晓军 田 轩 封雪松 赵 娟

西安近代化学研究所(陕西西安,710065)

[摘 要] 为研究炸药药柱在低速撞击复合刺激下的安全性,建立了炸药药柱低速撞击复合环境试验系统,对 -40、20、70℃ 的 B 炸药与 JO8 炸药柱进行了低速撞击感度试验。采用气敏检测系统监测药柱撞击密闭腔室内 CO、CO₂ 以及 H₂ 3 种气体的浓度来判断药柱的爆炸状况,提高了试验结果判断的准确性,获得了不同温度下 B 炸药与 JO8 炸药柱的临界落高。结果表明,温度与炸药药柱临界撞击高度并没有很直接的关系,B 炸药与 JO8 炸药的药柱撞击安全性在一定温度范围内(20~70℃)对温度不敏感,低温环境下 B 炸药稍有钝感,而 JO8 炸药则趋于更加敏感。

[关键词] 炸药药柱;撞击安全性;复合刺激;爆炸判断;响应特性

[分类号] TD235.2⁺1; O389

引言

炸药药柱撞击感度测定数据可为炸药生产加工、运输及储存过程中受到意外撞击后安全性评估提供一定依据,然而炸药在其全寿命周期中可能会受到一些不同形式外界刺激的共同作用,从而引发重大安全隐患。Harold 等^[1]研究了 PBX-9502 炸药在 240℃ 下的枪击感度,结果表明,PBX-9502 炸药经加热后发火阈值略有下降,安全性降低。Switzer 等^[2]采用 Steven 试验研究了 PBX-9404 与 LX-04 炸药在高温与室温下的响应阈值,结果表明,加热到 150~170℃ 后,LX-04 炸药的响应阈值有显著提高,PBX-9404 炸药的响应阈值略有提高。代晓淦等^[3]研究了热和枪击复合环境试验中 PBX-2 炸药的响应特性,分别采用约 1℃/min 和 10℃/min 的升温速率对 PBX-2 炸药进行加热,试验结果表明,PBX-2 炸药在常温以及两种升温速率环境下的反应程度基本一致。目前,国内关于炸药药柱在复合环境下安全性的研究力度不够。本文建立了炸药药柱低速撞击的复合环境试验系统,选用 B 炸药药柱和 JO8 炸药药柱,分别研究了两种炸药药柱在低速撞击复合刺激下的响应特性,为今后预估炸药在此类环境下的安全性能奠定了基础。

1 低速撞击试验

1.1 试验系统及其装置

撞击感度是指炸药在受到外界撞击后发生爆炸

的难易程度,通常用爆炸百分数表示,GJB772A—1997 中规定的撞击感度试验方法适用于药粉,每发试验药量为 50 mg,它是用来表征炸药在生产、运输及储存过程中受到意外撞击发生反应的难易程度。但是,火炸药制成药柱及装填武器后,仅用粉状时的撞击感度来表征药柱及装填武器后受到撞击刺激后的感度显然是不合适的。因此,为了表征药柱受到撞击刺激下的感度,建立了 10 g 药柱的撞击感度试验装置^[4],同时用该装置研究炸药药柱温度的变化对药柱撞击感度的影响。图 1 为测量药柱撞击感度的落锤装置示意图。

1.2 试验方法

本试验采用图 1 药柱撞击感度仪对不同温度的炸药药柱在低速撞击下的响应进行测试,落锤质量选用 30 kg。试样为铸装 B 炸药(质量分数分别为 60% RDX、40% TNT、1% 蜡)药柱 Ø20 mm × 20 mm 和压装 JO8 炸药(质量分数分别为 95% HMX、5% 黏结剂)药柱 Ø20 mm × 20 mm,试验药柱质量 10 g。试验温度分别为 -40、20、70℃,采用高低温箱对样品进行温度处理,将试验药柱放置于达到所需温度的高低温箱,在所需的温度保温 3 h,然后迅速取出进行试验。

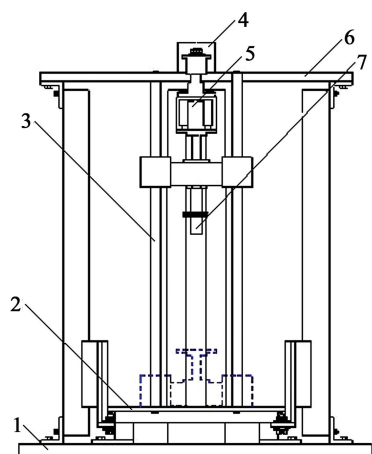
试验过程中,由于药柱在加工过程中两个端面的平行度不能完全保证,导致一部分药柱在被撞击刺激下发生横向位移,一定程度影响试验结果^[5]。

* 收稿日期:2014-05-16

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

作者简介:徐洪涛(1982~),男,工程师,从事火炸药评估技术研究。E-mail:xuan110@163.com

通信作者:冯博(1987~),男,工程师,从事混合炸药技术研究。E-mail:rfb061439@163.com



1 - 底座; 2 - 托锤架; 3 - 导杆; 4 - 步进电机;
5 - 挂锤架; 6 - 顶板; 7 - 锤头

图1 落锤装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of drop hammer system

为保证试验条件的一致性,并且不致于增加样品制备的技术难度,试验中给药柱安装一个简易的导向装置(导向套),通过对不同材料及规格的导向套试用研究,最终确定采用PVC材料的导向套。试验装配过程如文献[6]所述,将炸药药柱置于上、下两个击柱之间,其整体采用PVC管约束后放于击砧中心位置。

2 结果分析与讨论

2.1 撞击结果的判定

GJB772A—1997中规定“当观察到有爆炸声,发光、冒烟、试样变色、与试样接触的击柱表面有痕迹、有分解或爆炸气体产物的现象之一时,均判断为爆炸”。目前在大部分的机械感度试验中,试验结果判定主要依赖于人工的判断,主要根据声音的大小、金属配件上的爆炸痕迹来判断,判断难度较大并且判断结果因人而异。为提高试验结果的判断准确性,本试验通过自动监测药柱撞击密闭腔室内的气体成分来判断药柱的爆炸状况。

火炸药的分解气体产物主要是CO、CO₂、H₂和NO_x,试验选用检测CO、CO₂以及H₂的3种气体传感器组成气敏检测系统^[7],对药柱撞击密闭腔室中3种气体的浓度进行监测,其分辨率达到 1×10^{-6} 。采用特制的微型真空泵,通过橡皮管从撞击密闭腔室中抽取空气样品,得到的气体样品再通过气敏传感器。撞击密闭腔室如图2所示。如果试样发生了反应,从气敏检测装置的数据采集分析系统就可以准确地做出判断。

气敏检测装置通过对药柱撞击过程中撞击密闭腔室内的气体进行采集分析,可以得到CO、CO₂以及H₂3种气体的浓度-时间曲线,通过曲线对药柱是

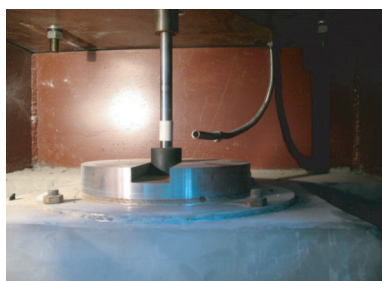
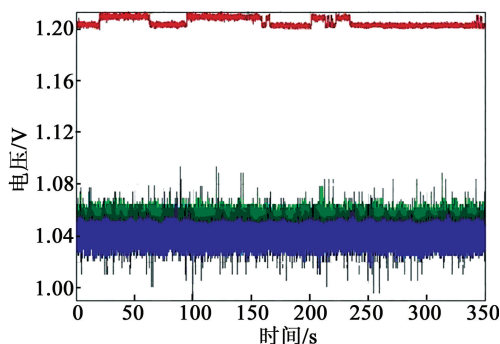


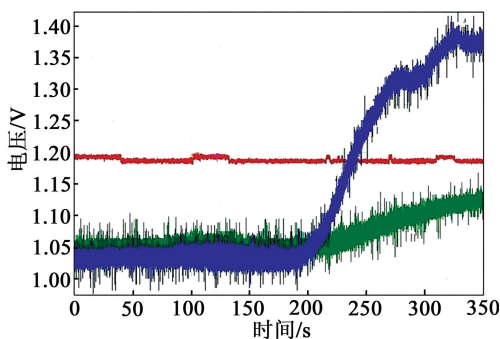
图2 撞击密闭腔室

Fig.2 Impacting hermetic room

否反应进行判断。典型的检测结果图像如图3所示,横坐标为时间,纵坐标代表气体浓度的传感器电压值,图中蓝色曲线表示CO的浓度,绿色曲线表示H₂的浓度,红色曲线表示CO₂的浓度。其中,图3(a)为未发生爆炸的检测图像,图3(b)为发生爆炸的检测图像。当炸药药柱在撞击刺激下未发生爆炸时,在整个试验过程中气体传感器检测到的CO、CO₂以及H₂的浓度基本不发生变化;而当药柱在撞击刺激下爆炸时,检测到的CO与H₂的浓度从药柱爆炸时刻有一定的突跃上升,而突跃上升的大小体现了药柱受撞击后的反应程度。



(a) 未发生爆炸



(b) 发生爆炸

图3 气体检测结果图像

Fig.3 Results of gas detecting

2.2 不同温度下炸药药柱的撞击响应

分别对B炸药药柱和J08炸药药柱在不同温度下进行低速撞击试验,获得其在不同温度下的药柱的临界落高,结果如表1所示。

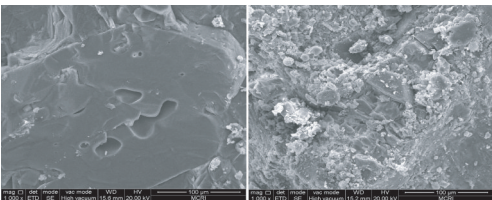
表 1 炸药药柱在不同温度下的临界落高

Tab.1 Critical drop height of the explosive columns under different temperatures

样品名称	温度/℃		
	-40	20	70
J08 炸药	30	60	60
B 炸药	1850	1800	1800

由表 1 可以看出,在 -40、20、70℃ 3 种温度下进行的药柱低速撞击试验中,B 炸药药柱的临界落高在 20℃ 与 70℃ 时保持一致,而在 -40℃ 时略有升高;J08 炸药药柱的临界落高在 20℃ 与 70℃ 时保持一致,而在 -40℃ 时降低了 50%。因此,温度与药柱临界撞击高度并没有直接的联系,B 炸药与 J08 炸药的药柱撞击安全性在一定温度范围内(20~70℃)对温度不敏感,低温环境下 B 炸药药柱略有钝感,而 J08 炸药药柱趋于更加敏感。

目前,比较公认的机械作用下炸药发生爆炸的机理是热点起爆机理。当炸药受到机械作用时,首先机械能转变为热能,因为机械作用不会是均匀的,热能只能集中在一些局部的小区间,使这些区间的炸药温度升高形成热点,在热点处炸药发生分解,并由于反应的放热性使分解速度迅速加快,如果热点的数目足够多,尺寸足够大,热点处的温度达到足够高时,就可以引爆炸药。炸药受到机械作用时,炸药晶粒之间的摩擦、炸药与金属之间的摩擦以及炸药被挤压产生黏滞流动均会形成热点。因此,炸药药柱中组分以及晶粒的接触状态会对其撞击感度有较大影响,B 炸药药柱与 J08 炸药药柱切面的扫描电镜照片如图 4 所示。



(a) B 炸药 (b) J08 炸药

图 4 药柱切面的扫描电镜照片

Fig.4 SEM images of the cross-section of different explosive columns

对比图 4 中两幅药柱切面扫描电镜照片,B 炸药的切面比较清晰,基本看不到 RDX 晶粒以及晶粒之间的界面,药柱的内部缺陷较少;而 J08 炸药的切面比较粗糙,可清晰看到 HMX 晶粒以及晶粒之间的界面,药柱的内部缺陷可能较多。造成两种炸药不同微观结构的原因在于 B 炸药为熔铸体系,TNT

作为载体将 RDX 晶体包裹,TNT 与 RDX 接触程度好,TNT 一定程度上弱化了 RDX 晶粒的直接接触^[8];而 J08 炸药为压装炸药,HMX 晶粒通过黏结剂挤压成型组合在一起,成型后 HMX 晶粒间的界面依然存在,大部分的晶粒之间为直接接触^[9-10]。在本试验中,药柱在受撞击瞬间先发生破碎,破碎后就有可能形成大量的热点^[11-13]。

由于 B 炸药的内部结构均匀一致以及内部缺陷较少,并且由于 TNT 对 RDX 晶粒表面完全包裹,导致 B 炸药药柱在受撞击破碎时晶粒之间的摩擦较少,因此 B 炸药在不同温度下的撞击感度基本不发生变化。而低温下,由于材料在撞击下发生化学反应所需的能量加大,因此导致 B 炸药药柱在低温下的撞击感度略有降低。

由于 J08 炸药中 HMX 晶粒通过黏结剂结合在一起,成型后药柱在 20℃ 与 70℃ 下存在一定的塑性变形,药柱受撞击破碎时黏结剂能一定程度上使裂纹发生钝化,并且黏结剂受挤压加热后的塑性流动可以在一定程度上限制 HMX 晶粒间的摩擦,因此 20℃ 与 70℃ 下 J08 炸药药柱的撞击感度相同。而低温下,尤其是 -40℃ 时 J08 炸药药柱成脆性,原本结合力不强的 HMX 晶粒与黏结剂在热胀冷缩的作用下导致 J08 药柱产生更多裂纹,并且裂纹大都出现在晶粒与黏结剂界面之间,药柱破碎时 HMX 晶粒间的摩擦作用会明显增强。

3 结论

- 1)建立了能有效应用于炸药安全性评价的低速撞击复合环境试验系统。
- 2)试验采用气敏检测系统监测药柱撞击密闭腔室内 CO、CO₂ 以及 H₂ 3 种气体的浓度来判断药柱的爆炸状况,提高了试验结果判断的准确性。
- 3)温度与药柱临界撞击高度并没有直接的联系,B 炸药与 J08 炸药的药柱撞击安全性在一定温度范围内(20~70℃)对温度不敏感,低温环境下 B 炸药药柱略有钝感,而 J08 炸药药柱趋于更加敏感。

参 考 文 献

[1] Harold W S, Susan A A, Kim E A, et al. Hazard tests on a heated TATB-based high explosive [C]//Proceedings 7th International Detonation Symposium. Snowmass: office of Naval Research, 1998: 428-433.

[2] Switzer L L, Vandersall K S, Chidester S K, et al. Threshold studies of heated HMX-based energetic material targets using the steven impact test [J]. AIP Conference Proceedings, 2004,706:1045-1048.

[3] 代晓淦,文玉史,申春迎,等. 热和枪击复合环境试验中 PBX-2 炸药的响应特性[J]. 火炸药学报, 2009,

- 32(4):41-44.
- Dai Xiaogan, Wen Yushi, Shen Chunying, et al. Reaction characteristics of PBX-2 under heat and bullet impacting multiple test [J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2009,32(4):41-44.
- [4] 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):30-34.
- Xu Hongtao, Kong Deren, Hu Hongwei, et al. Impact sensitivity test system and test method of explosives column [J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2010,33(3):30-34.
- [5] 高立龙,牛余雷,王浩,等. 典型炸药柱的 400kg 落锤撞击感度特性分析[J]. 含能材料, 2011,19(4):428-431.
- Gao Lilong, Niu Yulei, Wang Hao, et al. Analysis of impact sensitivity characteristics for typical explosive cylinder [J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2011,19(4):428-431.
- [6] 赵娟,徐洪涛,冯晓军,等. 装药条件对 B 炸药落锤撞击响应的影响研究[J]. 爆破器材,2014,43(6):6-10.
- Zhao Juan, Xu Hongtao, Feng Xiaojun, et al. Effects of charge conditions on the drop hammer impact response of composition B [J]. Explosive Materials, 2014,43(6):6-10.
- [7] 贾良菊,应鹏展,许林敏,等. 气敏传感器的研究现状与发展趋势[J]. 煤矿机械,2005(4):3-5.
- Jia Liangju, Ying Pengzhan, Xu Linmin, et al. The current research situation and development trend of gas sensor [J]. Coal Mine Machinery, 2005(4):3-5.
- [8] 赵省向,张亦安. 几种熔铸炸药的热点临界参数和撞击感度[J]. 含能材料,2003,11(3):127-129.
- Zhao Shengxiang, Zhang Yi'an. The critical initiation parameters of hot-spots and impact sensitivity of melt-cast explosives [J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2003,11(3):127-129.
- [9] 刘佳辉,刘世俊,黄明,等. 钢模压制下高品质 HMX 晶体的损伤规律[J]. 火炸药学报,2012,35(3):42-46.
- Liu Jiahui, Liu Shijun, Huang Ming, et al. Crack and damage in insensitive HMX crystal during pressing [J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2012,35(3):42-46.
- [10] 梁华琼,雍炼,唐常良,等. 压制过程中 PBX 炸药颗粒的破碎及损伤[J]. 火炸药学报,2010,33(1):27-30.
- Liang Huaqiong, Yong Lian, Tang Changliang, et al. Crack and damage of PBX during pressing [J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2010,33(1):27-30.
- [11] Keshavarz M H, Jaafari M. Investigation of the various structure parameters for predicting impact sensitivity of energetic molecules via artificial neural network [J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 2006,31(3):216-225.
- [12] Zhang Luzheng, Zybin S V, Van Duin A C T, et al. Modeling high rate impact sensitivity of perfect RDX and HMX crystals by reaxff reactive dynamics [J]. Journal of Energetic Materials, 2010,28(Suppl. 1):92-127.
- [13] Peterson P D, Avilucea G R, Bishop R L, et al. Individual contributions of friction and impact on non-shock initiation of high explosives [J]. AIP Conference Proceedings, 2007,955(1):983-986.

Reaction Characteristic of Explosive Columns on Different Temperatures in Low Speed Impacting Multiple Test

XU Hongtao, FENG Bo, FENG Xiaojun, TIAN Xuan, FENG Xuesong, ZHAO Juan
Xi'an Modern Chemistry Research Institute (Shaanxi Xi'an, 710065)

[ABSTRACT] In order to study the safety of explosive columns under low speed impacting multiple stimulations, the multiple environments test system was established and the low-impact sensitivity tests of Composite B and JO8 were carried out under the temperature of $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. The density of CO , CO_2 and H_2 in the impacting hermetic room were monitored by the gas-sensitive detection system to determine the status of the columns explosion, which improves the accuracy of the judgment of explosion. The critical drop height of Composite B and JO8 under three different temperatures was obtained. The results show that the critical drop height has no very direct relationship with temperature. The impacting safety of Composite B and JO8 is not sensitive to temperature in a certain temperature range from $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Under an environment with lower temperature, the Composite B is slightly insensitive and JO8 tends to be more sensitive.

[KEY WORDS] explosive columns; safety of impacting; multiple stimulations; judgment of explosion; reaction characteristic