

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2015.06.012

传爆药冲击波感度试验方法的简化研究^{*}

严家佳^① 王建灵^① 张 哲^② 李鸿宾^① 杨 斐^①

①西安近代化学研究所(陕西西安,710065)

②中国北方化学工业集团有限公司(北京,100083)

[摘 要] 尝试了一种用压装 A-IX-I(RDX 与钝感剂质量比为 95:5)药柱替代纯 RDX 作为施主药柱进行冲击波感度试验(SSGT)的方法,通过零隔板试验,检验了施主药柱的爆炸能量输出性能。所得施主药柱的平均质量为 1 195.5 mg,相对误差 0.495%;鉴定块的平均凹痕深度 1.769 mm,相对误差 0.96%,说明压装法得到的施主药柱性能较好。利用该方法研究了 JH-14 传爆药经过高温加速老化前后的冲击波感度,结果显示,老化后的样品冲击波感度具有增加的趋势。

[关键词] 爆炸力学;炸药安全性;传爆药;冲击波感度;小隔板试验

[分类号] TJ410.1

引言

GJB2178—1994 传爆药安全性试验方法^[1]中严格规定了传爆药冲击波感度试验(SSGT)方法,统一利用该方法进行试验可以保证试验结果准确、可靠,并且具有横向可比性。但是,由于该方法对试验装置、施主药柱要求非常严格,造成所需的试验成本较高,而对于一些对试验结果精度要求较低且无需将试验数据进行横向对比的研究项目而言,并不一定要完全按照上述方法进行试验。本文提供了一种用 A-IX-I(RDX 与钝感剂质量比为 95:5)替代纯 RDX 制造施主药柱的方法,所得施主药柱能量输出合格、稳定。相比于 GJB2178—1994 规定的方法,本方法更加安全,施主药柱制造过程更加简便。

利用该方法研究了 JH-14 传爆药经过高温加速老化试验后的冲击波感度变化规律,所得结果和理论分析结果相符。

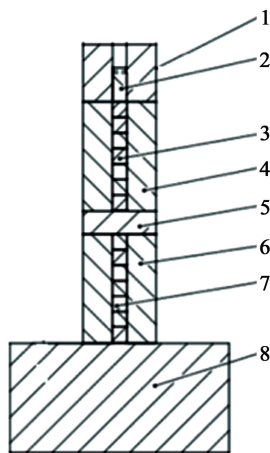
1 试验

1.1 试验装置

试验装置见图 1,为标准的传爆药冲击波感度试验(SSGT)的小隔板试验装置。

施主炸药为 A-IX-I,804 厂生产;主炸药 RDX,品质为 II 型 2 类。将 A-IX-I 压制成直径 5.00 mm、高 5.43 mm、平均密度 1.65 g/cm³ 的药柱,每次试验使用 7 个,总高度 38.01 mm。所用隔板为标准 PMMA(聚甲基丙烯酸甲酯)有机玻璃板,受主炸药为 JH-14(质量比 RDX/氟橡胶/石墨:96.5:3.0:

0.5),直径和高度与施主炸药相同,二者均采用强约束。鉴定块材质为 20# 软钢,用以判定受主炸药是否发生爆炸反应。



1—雷管座;2—雷管;3—施主药柱;4—套筒;
5—有机玻璃板;6—套筒;7—试样装药;8—鉴定块

图 1 SSGT 小隔板试验装置图

Fig. 1 Experimental apparatus of SSGTsmall gap test

1.2 试验原理和试验方法

雷管起爆施主药柱,施主药柱产生的冲击波经过 PMMA 隔板衰减后作用于受主炸药,通过鉴定块上的凹痕深度判定在冲击波作用下受主炸药是否发生爆炸反应。根据经验选取初始隔板值进行试验,若爆炸,则增加隔板值;否则,减小隔板值。取连续 3 次出现爆炸的最大隔板值和连续 3 次出现不爆的最小隔板值的算术平均值作为最终试样的 50% 爆

^{*} 收稿日期:2015-02-04

作者简介:严家佳(1985~),男,硕士,主要从事爆炸性能评估技术方面的研究。E-mail:241049625@qq.com

炸临界隔板值。若鉴定块凹痕深度超过零隔板时凹痕深度的一半,则判定为爆炸,结果记为 1;否则,为不爆,结果记为 0。该原理的图解见图 2,图中试样的 50% 爆炸临界隔板厚度为 $(7.0 + 6.8)/2 = 6.9$ mm。

隔板厚度/mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7.1										
7.0								0	0	0
6.9				0	1					
6.8			1			1	1			
6.7										
6.6		1								
6.5	1									

图 2 试验方法说明

Fig. 2 Detail of the test method

2 施主药柱性能评价

施主炸药作为一个标准能量输出源,要求其能量输出性能合格、稳定。从已经压制好的 700 个药柱中随机选取 35 个,分成 5 等分,作为 5 组样品。利用精度为 0.000 1 g 的电子称称量各组药柱的质量,每组样品称量 3 次,算术平均值作为最终结果,测量结果见表 1。然后将 5 组样品进行零隔板试验,评估它们的能量输出性能是否符合试验要求。

表 1 施主药柱质量

Tab. 1 Mass of the donor casts

m_1/g	m_2/g	m_3/g	m_4/g
1.195 4	1.201 4	1.201 3	1.190 6
m_5/g	\overline{m}/g	S/g	相对误差/%
1.188 6	1.195 5	0.005 9	0.495

从随机抽样的结果来看,施主药柱的质量控制较好,可以保证各组试验中施主药柱的质量差较小。表 2 中列出了 5 发零隔板试验结果。

表 2 施主药柱的能量输出性能

Tab. 2 Energy output performances of donor casts

试验序号	凹痕深度/mm	均值/mm	S/mm	相对偏差/%
1 [#]	1.752			
2 [#]	1.780			
3 [#]	1.751	1.769	0.017	0.96
4 [#]	1.789			
5 [#]	1.773			

鉴定块的平均凹痕深度 1.769 mm,大于 GJB2178—1994 中规定的 1.613 ~ 1.700 mm 的规定值。出现这种情况主要是因为施主药柱的装药密度较大的情况下,爆轰输出压力大;另一个原因就是

即使使用同一种材料,也很难保证各鉴定块的硬度保持一致,通常鉴定块每改变一个单位布氏硬度值,凹痕深度改变 0.007 5 mm。但是对于本试验而言,凹痕深度增加是有益于减小试验误差的,所以鉴定块选用硬度较小的 20[#] 软钢。5 发试验鉴定块凹痕深度标准偏差为 0.017 mm,相对偏差为 0.96%。可见,施主药柱的爆轰输出能量较为稳定。鉴定块试验后的典型照片见图 3。



图 3 鉴定块试验后状况

Fig. 3 Typical picture of an evidence block after test

3 验证性试验

3.1 试样准备

JH-14 传爆药是我国现役装备中常用的传爆药,为了研究该传爆药长期储存后的安全性能,通过高温加速老化试验模拟 JH-14 传爆药长期储存过程,利用 SSGT 小隔板试验初步了解 JH-14 传爆药的冲击波感度变化规律,为制定后续的研究方案提供参考数据。

将压制好的 JH-14 药柱分成 4 等份,每份 140 个药柱,并分别标记为 I、II、III 和 IV。其中 II、III、IV 试样进行加速老化处理,加速老化条件为空气环境下 71 ℃ 恒温^[2-3]。II 试样老化 4 d,III 试样老化 19 d,IV 试样老化 38 d。I 试样未老化的 JH-14 药柱的平均质量为 1.233 g,密度约为 1.67 g/cm³。

3.2 试验结果与分析

表 3 为未老化的 JH-14 50% 爆炸临界隔板值的确定过程。通过 10 组试验即确定了未老化 JH-14 传爆药的临界隔板值介于 6.81 mm 和 7.00 mm 之间,取其算术平均值,得到 50% 爆炸临界隔板值为 6.91 mm。

进一步对加速老化后的样品进行试验,结果见表 4。根据试验的目的,只要能够得到 JH-14 传爆药加速老化前后的冲击波感度变化趋势即可,故试验中不严格依据常用的 Bruceton 升降法,而是根据试样的试验结果调整隔板值。16[#] ~ 21[#]、22[#] ~ 27[#] 和 28[#] ~ 30[#] 试验结果表明 II、III 和 IV 样品 50%

表 3 未老化 JH-14 的 50% 爆炸临界隔板厚度

Tab. 3 50% Critical gap thicknesses
of unaged JH-14 explosives

试验 序号	受主 药柱	隔板厚度/ mm	凹痕深度/ mm	试验 结果
6 [#]	I	6.50	1.705	1
7 [#]	I	6.70	1.672	1
8 [#]	I	6.90	0.185	0
9 [#]	I	6.90	1.650	1
10 [#]	I	6.81	1.651	1
11 [#]	I	6.81	1.482	1
12 [#]	I	6.81	1.552	1
13 [#]	I	7.00	0.242	0
14 [#]	I	7.00	0.249	0
15 [#]	I	7.00	0.590	0

表 4 加速老化后 JH-14 冲击波感度

Tab. 4 Shock wave sensitivity of aged JH-14s

试验 序号	受主 药柱	隔板厚度/ mm	凹痕深度/ mm	试验 结果
16 [#]	Ⅱ	6.81	1.132	1
17 [#]	Ⅱ	6.81	1.035	1
18 [#]	Ⅱ	6.81	1.525	1
19 [#]	Ⅱ	7.10	0.560	0
20 [#]	Ⅱ	7.10	0.350	0
21 [#]	Ⅱ	7.10	0.450	0
22 [#]	Ⅲ	7.30	1.270	1
23 [#]	Ⅲ	7.30	1.200	1
24 [#]	Ⅲ	7.30	1.330	1
25 [#]	Ⅲ	7.60	0.620	0
26 [#]	Ⅲ	7.60	0.780	0
27 [#]	Ⅲ	7.60	0.360	0
28 [#]	Ⅳ	7.90	1.670	1
29 [#]	Ⅳ	7.90	1.580	1
30 [#]	Ⅳ	7.90	1.550	1

爆炸临界隔板值范围分别为 6.81~7.10 mm、7.30~7.60 mm 和 >7.90 mm。结合表 3 中 I 样品的结果,可以对 I~Ⅳ样品的冲击波感度做如下排序:Ⅳ>Ⅲ>Ⅱ≈I。说明 JH-14 传爆药经过高温加速老化后的冲击波感度有增加的趋势。

分析认为,JH-14 传爆药加速老化后,冲击波感度增加的原因有以下几种^[4-8]:

1)JH-14 炸药受热时部分发生分解,降低了炸药发生爆炸反应需要的外部能量,因而提高了冲击波感度;

2)JH-14 炸药中含有质量分数 3% 的氟橡胶,在氧气的氧化作用下,氟橡胶发生老化变形,导致物质界面脱粘,破坏了混合炸药原本较为均匀的体系,使得炸药内部出现微小损伤,甚至出现可见裂纹,从而

增加冲击波感度;

3)JH-14 氟橡胶的老化变形宏观表现为药柱发生膨胀,密度降低,对炸药感度也有一定的影响。

4 结 论

1)若无需将试验结果做横向对比,可以考虑使用压装 A-IX-I 药柱替代纯 RDX 作为施主药柱进行 SSGT 小隔板试验。本试验方法的施主药柱能量输出性能稳定,符合常规试验要求。

2)按照本方法进行试验,JH-14 传爆药的 50% 爆炸临界隔板值为 6.91 mm,经过 71 ℃ 高温加速老化后,JH-14 传爆药的冲击波感度有增加的趋势。

参 考 文 献

[1] 传爆药安全性试验方法:GJB2178—1994 [S]. 北京:中国标准出版社,1994.

[2] 刘玉存,王作山,柴涛,等. HMX 粒度及其级配对塑料粘结炸药冲击波感和爆炸输出能量的影响[J]. 兵工学报,2000,12(4):357-359.

LIU Y C, WANG Z S, CHAI T, et al. Influence of HMX particle size and gradation on the shock sensitivity and output of a PBX explosive [J]. Acta Armamentaria, 2000,12(4):357-359.

[3] 高大元,申春迎,文尚刚,等. 加速老化对炸药件安全性的影响研究[J]. 含能材料,2011,19(6):673-678.

GAO D Y, SHEN C Y, WEN S G, et al. Accelerated aging on effect of safety for explosive parts[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2011,19(6):673-678.

[4] 封雪松. 一种重结晶黑索金的冲击波感度研究[J]. 含能材料,2007,15(6):581-584.

FENG X S. The shock sensitivity of a rscrystallizing RDX [J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2007, 15(6):581-584.

[5] 代晓淦,向永,申春迎. 用抛射弹撞击法(Steven 试验)研究 PBX-2 炸药加速老化前后反应能力[J]. 含能材料,2006,14(6):453-456.

DAI X G, XIANG Y, SHEN C Y. Reaction ability of PBX-2 before and after accelerated aging by projectile impact(Steven test) [J]. Chinese Journal of Energetic Materials,2006,14(6):453-456.

[6] 王晓峰,戴蓉兰,涂健. 钝感传爆药 HBM-1 的配方设计[J]. 火工品,2002(2):30-31.

WANG X F, DAI R L, TU J. Formulation design of the insensitive booster composition JHB-1 [J]. Initiators & Pyrotechnics, 2002(2):30-31.

[7] FREY R B. Cavity collapse in energetic materials;technical report of army ballistic research lab aber deen proving ground;ADA 172513[R]. 1986.

[8] 章冠人,陈大年. 凝聚炸药起爆动力学[M]. 北京:国防工业出版社,1991.

- attenuated total reflection spectroscopy [J]. Energy Fuels, 2012, 26(9): 5633-5637.
- [22] 蒋忠亮, 张皋, 苏鹏飞, 等. HMX 含量实时检测 NIRS 模型的建立与优化[J]. 火炸药学报, 2014, 37(1): 66-69.

JIANG Z L, ZHANG G, SU P F, et al. Establishment and optimization of NIRS model for real-time detection of HMX content [J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2014, 37(1): 66-69.

Fast Determination of RDX Content in Gunpowder Absorbent Powder by Near Infrared Spectroscopy Technique

ZHOU Shuai^①, DENG Guodong^①, LI Dayong^②, LU Leiming^①

①National Special Superfine Powder Engineering Center, Nanjing University of Science and Technology (Jiangsu Nanjing, 210094)

②Liaoning Qingyang Chemical Industry Corporation (Liaoning Liaoyang, 111002)

[ABSTRACT] In this study, near infrared (NIR) spectroscopy was used to determine the cyclotrimethylene trinitramine (RDX) content in gunpowder absorbent powder. The beaker filled with mixed liquor samples was placed above the window of spectrometer light source to directly record the spectra. Three optimum spectral intervals, including 908-945 nm, 1094-1253 nm and 1577-1678 nm, were chosen to construct the model by the analysis of NIR spectra of pure solid RDX and samples. Through comparison of different spectral preprocessing method, the optimum pretreatment method of SNV + 1st + smooth was selected. A quantitative chemometrics model based on the characteristic spectral regions of RDX was established using the partial least squares (PLS). The results show that the determination coefficient (R_{cv}^2) of cross-validation is 0.987 9, the root mean square error of cross-validation (RMSECV) is 0.242 0, and the root mean square error of predication (RMSEP) is 0.212 7. In addition, the average relative error of prediction is 0.566 1%, and the time for determination is less than 25 seconds. In conclusion, the analysis method can provide technical support for continuous and automatic production of gunpowder.

[KEY WORDS] analytical chemistry; near infrared spectroscopy; fast determination; gunpowder absorbent powder; cyclotrimethylene trinitramine

(上接第 54 页)

Simplified Shock Wave Sensitivity Test Method of Booster Explosives

YAN Jiajia^①, WANG Jianling^①, ZHANG Zhe^②, LI Hongbin^①, YANG Fei^①

①Xi'an Modern Chemistry Research Institute (Shaanxi Xi'an, 710065)

②China North Chemical Industries Group Co., Ltd. (Beijing, 100083)

[ABSTRACT] A new type of small scale gap test method (SSGT), in which RDX was substituted by A-IX-I [$m(\text{RDX}) : m(\text{insensitive agent}) = 95 : 5$] as donor casts, was introduced to study the sensitivity of shock wave. The explosion energy output performance of donor explosives was tested by a group of none gap tests. Result shows that the average mass of donor explosives is 1 195.5 mg, and the relatively error is 0.495%; the average pitting depth of identification slab is 1.769 mm, and relatively error is 0.96%. It indicates that donor explosive has a good performance. This method was used to study the shock wave sensitivity of JH-14 before or after aging tests at high temperatures. It shows that the aged explosives tend to have higher shock wave sensitivity, and the sensitivity increases with the increase of age time of accepters.

[KEY WORDS] explosion mechanics; safety performance of explosives; booster explosive; shock wave sensitivity; SSGT small gap test