

文章编号: 1006-9941(2011)06-0689-04

发射药冲击波感度的试验研究

陈晓明, 金鹏刚, 张衡, 刘来东, 宋长文, 张邹邹, 赵瑛

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

摘要: 采用隔板试验方法对发射药冲击波感度进行了系统试验, 其中包括单基、双基、三基和叠氮硝胺等不同结构的发射药, 以及球形、6/7 和 17/19 的不同药型的发射药。通过冲击波感度的试验, 研究了发射药冲击波感度的响应特性, 得到了发射药冲击波感度的影响因素和响应规律, 主要表现为, 添加黑索今(RDX)、硝化甘油(NG)、叠氮硝胺(DA)等高能组分后, 发射药冲击波感度增加; 随着高能组分含量的增加, 其冲击波感度也增加。不同的含能组分对冲击波的影响程度不同。发射药药型尺寸变大, 其装填密度降低, 会显著降低发射药的冲击波感度, 装填密度增加 10%, 冲击波感度隔板值大约增加 1 倍。提出了发射药组份对冲击波感度贡献的定量计算的概念, 可以进行发射药冲击波感度的预估。

关键词: 爆炸力学; 危险等级; 隔板试验; 冲击波感度; 爆轰; 发射药; 机理

中图分类号: TJ55; O38

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.06.020

1 引言

长期以来, 有关含能材料在制造、试验、运输、贮存、使用中的危险性, 世界各国的研究机构都投入了大量的人力、物力, 对含能材料的危险性试验和评价方法进行了广泛的研究, 出台了一系列的方法、标准和规章^[1]。

根据国内外资料搜索和调研, 分级试验方法的试验验证, 样品多采用单质炸药, 火药较少。而且对火药的感度试验和分级研究中, 大多是针对推进剂, 发射药部分更少, 只有少数关于发射药危险性的单项试验^[2]。目前国内外对发射药危险分级没有明确的说明和结论, 只是对火药(发射药和推进剂)有笼统的危险分级共识, 即单基药为燃烧危险的 1.3 级, 双基和三基发射药为爆轰危险的 1.1 级, 未见到对不同的发射药配方、药型等的较为系统的危险性试验研究的报道, 这显然对不同发射药生产和贮运过程中的安全防护操作缺乏指导意义^[3]。

目前, 发射药危险等级以其在一定条件下, 是否发生爆轰来判断, 所以, 研究发射药爆轰特性对研究分析发射药危险等级有重要意义。在发射药爆轰特性的试验和研究中发现, 发射药产生爆轰的主要方式是冲击波和燃烧转爆轰, 有研究报道, 火药分级试验也建议首

先进行冲击波试验和燃烧转爆轰试验^[4-5]。

发射药燃烧转爆轰是先燃烧产生超高压和冲击波, 从而诱发其余药床发生爆轰, 燃烧转爆轰与其冲击波感度有密切关系。同时, 发射药枪击感度试验也与其冲击波感度有很好的相关性^[6]。所以, 冲击波感度是评价发射药爆轰特性的主要参量, 是评价发射药危险性、分析发射药易损性的重要指标, 也是所有反映爆轰特性的试验中唯一可以量化的指标。

资料调研显示, 目前, 国内外未见发射药冲击波感度试验研究的报道, 只有少量的对炸药的冲击波感度的试验分析^[7-8]。

为了研究掌握发射药爆轰特性, 补充该领域认识的不足, 同时为发射药危险等级的判断提供参考, 本文开展了不同配方及药型尺寸的发射药冲击波感度的试验, 分析其影响因素及变化规律。

2 冲击波感度试验

2.1 试验方法

冲击波感度采用隔板试验方法。隔板试验用于确定物质在钢管约束条件下对冲击波刺激的敏感度, 是危险等级试验的重要和能够量化分析的试验项目。联合国分级试验系列 1 和试验系列 2 中的隔板试验是用来确定物质是否为第 1 类爆炸性物质的必测项目之一, 试验系列 7 中的隔板试验是用来确定物质是否为极不敏感的爆轰性物质的必测项目之一。

收稿日期: 2010-12-20; 修回日期: 2011-05-16

作者简介: 陈晓明(1969-), 男, 硕士, 副研究员, 主要从事发射药配方及性能测试研究工作。e-mail: ccxxmm888@sohu.com

本研究采用的隔板试验方法与联合国分级试验方法不同,主要区别在于样品管尺寸不同,联合国分级试验方法中隔板试验中样品管较大,这对试验场地有更高的要求,且试验费用较大。本研究采用的隔板试验的样品管尺寸相对较小,具体隔板试验条件为,装药尺寸为 $\Phi 36 \text{ mm} \times 140 \text{ mm}$,钢管壁厚为 6 mm,主发装药采用浇注 TNT/PETN (50/50),密度为 $(1.58 \pm 0.02) \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,带有 8#雷管孔;见证板采用 $\Phi 70 \text{ mm} \times 35 \text{ mm}$ 的 45#钢板,隔板为不同厚度的有机玻璃片,用于组合不同的隔板值。试验装置和结构示意图见图 1。

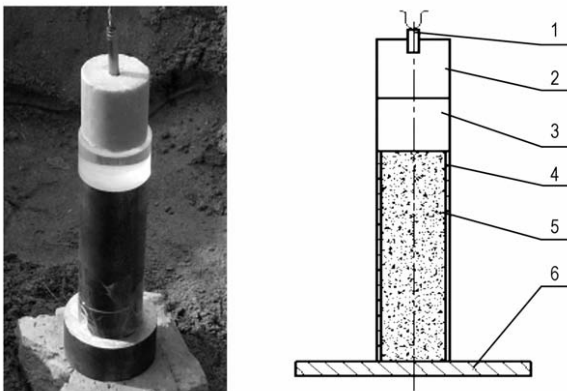


图 1 隔板试验装置

1—雷管, 2—主发药柱, 3—隔板, 4—样品管, 5—样品, 6—见证板

Fig. 1 Gap test set up

1—detonator; 2—mainspring detonator, 3—the gap, 4—tube of sample, 5—sample, 6—witness plate

试验前,现将样品管底端用胶带封住,多次震动并装满发射药,装药药面与样品管上面平齐。将装好的样品管平坐于见证板之上,将一定厚度的隔板(可以是不同厚度的板组合而成)平坐于样品管上,其上平放主发药柱,再将雷管插入药柱,雷管底端面与药柱孔底部接触,雷管通过长导线与点火器连接。整个试验装置放置于事先挖好的坑内。

试验后,见证板较为光滑的表面被破坏,出现高温高压气体冲蚀后形成的明显的凹坑,周围没有散落的残药,则判断为发生爆轰;如果试验后,见证板表面平滑,周围有散落的未反应的发射药药粒,则判断为不爆。

试验采取中值靠近方法,即首发根据经验选择一隔板值,如果爆轰,则下一发试验的隔板值加大,如果未爆轰,则下一发试验隔板值取二者中间值,如此反复试验,直到爆与不爆值相差 1 mm,取中间值的隔板值为最

终冲击波感度试验结果,试验结束。隔板值越大,说明引发发射药爆轰所需的能量越小,冲击波感度越大。

2.2 试验样品

试验用系列发射药见表 1 和表 2。

2.3 试验结果

发射药冲击波感度试验结果见表 1 和表 2。

表 1 不同发射药配方的冲击波感度对比

Table 1 Shock wave sensitivity of different gun propellant

type	ingredient/%					load density /g · cm ⁻³	thickness of gap/mm
	NC	NG	DA	RDX	DBP		
6/7 single-base	99	-	-	-	-	1.01	24.5
6/7 double-base 1	79.5	14.4	-	-	4.48	1.62	0.95
6/7 double-base 2	54.6	43.4	-	-	-	1.13	37.0
6/7 DA propellant	57.5	18.5	22.5	-	-	1.5	0.93
6/7 triple-base	50	20	-	28.5	-	1.5	0.98

表 2 不同药型尺寸(装填密度)的冲击波感度

Table 2 Shock wave sensitivity of different size of gun propellant

propellant	shape	load density /g · cm ⁻³	thickness of gap/mm
double-base	globe	1.1	32.8
	6/7	0.95	22.5
triple-base	6/7	1	42
	17/19	0.91	25

3 分析与讨论

3.1 发射药组成对冲击波感度的影响及分析

根据表 1 的试验结果,在相同的 6/7 药型条件下,发射药配方组成对冲击波感度有明显影响。单基药主要由硝化棉组成,其冲击波感度较低,在添加其它高能组分后,发射药冲击波感度增加,且随着高能组分含量的增加,其冲击波感度增加。但不同的含能组分对冲击波的影响程度不同。反之,惰性组分的加入,如苯二甲酸二丁酯,会明显的降低发射药的冲击波感度。

关于爆炸物的起爆机理,目前被普遍接受的是热点点火和热点引起的化学反应成长为爆轰的二阶段理论。从起爆过程来看,爆炸物的起爆过程不仅是热点形成的过程,而且还有热点的发展过程,直至形成稳定爆轰。

在吸收冲击波能量转化为热量方面,高能量物质受冲击波作用更容易裂解,易形成热点,从而引发爆

轰,其爆轰所需的能量较低,所以,含高能量的物质,如硝化甘油、叠氮硝酸、黑索金,发射药冲击波感度大,且随其含量的增加,冲击波感度也随之增大。

同时,本文在前期试验的基础上,进行了发射药组分对冲击波感度影响的量化研究。以单基药隔板值为基础,对多组分发射药各组分隔板值加权平均计算,得到各组分的隔板系数,同时,为相对比较各成分对冲击波感度的影响,以单基药为基数1,其它成分与其进行比较,得到各组份的相对系数,我们称其为冲击波系数,结果见表3。

表3 发射药组分的隔板值系数

Table 3 The gap modulus of gun propellant ingredient

component	the gap coefficient	shock wave coefficient
NC ¹⁾	24.5	1
NG	53.9	2.2
DA	55.3	2.3
RDX	66.0	2.7
DBP	-121.0	-4.9

Note: 1) The content of N in NC is 13%.

在联合国危险品分级程序中,隔板试验的隔板值是判断危险品是否具有爆炸性以及危险等级归类的重要依据。国外研究学者提出用隔板试验的隔板值判断火药的危险等级,大于一定数值,则为1.1级,小于一定数值,则为1.3级^[3],该判断方法未在联合国危险品分级程序中指出,但该方法简单明确,可作为参考。同时,由于隔板试验能够量化试验结果,可以通过隔板值的对比,比较物质之间的危险性,所以,通过各组分隔板系数计算不同发射药冲击波感度的方法,能够为今后发射药的生产 and 研究中发射药危险性的判断提供参考。

3.2 装填密度对冲击波感度的影响

发射药药型尺寸不同,其装填密度不同,火炸药的冲击波感度和装填密度有较大关系,所以开展了不同装填密度的试验,其结果见表2。从相同发射药、不同装填密度的试验结果可以看出,装填密度对发射药冲击波感度影响较大,发射药随药型尺寸变大,其装填密度降低,显著降低发射药的冲击波感度。

根据现有爆轰理论分析,装填密度对冲击波感度影响原因有:一是随着药型尺寸增大,装填密度明显变小,装药中含有较多的空隙,会导致冲击波的衰减,药体实际吸收的能量远低于冲击波所提供的能量,压力降增大,反应速率减慢;二是在反应过程中,空隙的

存在使反应释放能量的损失较多,只有一部分能够有效地传递给未反应区,影响爆轰的成长;三是发射药受冲击波作用向爆轰的转变依赖于化学反应释放能量的增加速率与稀疏波引起的能量损失速率之间的竞争,在隔板冲击起爆条件下,存在着来自侧向和背后的两种稀疏波。在冲击起爆过程中,由于空隙的存在,侧向稀疏波的影响也随之增大。当轴心处的压力不足以维持发射药化学反应的继续进行,即能量损失速率超过了化学反应的能量释放速率,发射药最终无法被起爆。

4 结论

(1) 发射药配方对冲击波感度有明显影响。单基药主要由硝化棉组成,其冲击波感度较低,添加高能组分后,发射药冲击波感度增加;随着含能组分含量的增加,其冲击波感度也增加。不同的含能组分对冲击波的影响程度不同,惰性组分的加入,会明显降低发射药的冲击波感度。

(2) 发射药药型尺寸的不同,其装填密度不同,发射药随药型尺寸的变大,其装填密度降低,会显著降低发射药的冲击波感度。

(3) 量化分析了不同组份对发射药的冲击波感度的影响,得出了发射药不同组份冲击波感度系数,即冲击波系数以硝化棉为1.0进行对比计算,硝化甘油为2.2,叠氮硝酸为2.3,黑索金为2.7,而不含能的邻苯二甲酸二丁酯则为-4.9。

参考文献:

- [1] 刘继华. 火药物理化学性能[M]. 北京:北京理工大学出版社, 1997
- [2] Saxena Neelam, Narang R. New approach to hazard classification testing of propellants[C] // 33th International Pyrotechnics Seminars, Colorado. USA 2006, 485.
- [3] Boggs T L, Atwood A I. Hazards associated with solid propellants [C] // 49th JANNAF Propulsion Meeting, 1999, 1: 65 - 105, 1999.
- [4] 俞统昌, 王晓峰, 王建灵. 火炸药危险等级分级程序分析[J]. 火炸药学报, 2006, 29(1): 10 - 13.
YU Tong-chang, WANG Xiao-feng, WANG Jian-ling. Hazard Classification Procedures for Explosive and Propellant[J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2006, 29(1): 10 - 13.
- [5] 王晓峰, 王亲会, 王宁飞. 开展高能固体推进剂危险性分级研究的建议[J]. 火炸药学报, 2003, 26(1): 59 - 61.
WANG Xiao-feng, WANG Qin-hui, WANG Ning-fei. Suggestion on Studying Hazard Classification of High Energy Solid Propellants [J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2003, 26(1): 59 - 61.
- [6] Kimura J I, Arisawa H, Shimidzu T. Propellants response to

cookoff, bullet impact and spall impact monitored by pressure in a closed vessel [C] // 28th International Annual Conference of ICT, Karlsruhe; 1997

- [7] Vander Heijden. Physicochemical parameters of nitramines influencing shock sensitivity [J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2004, 29(5): 204–313.

[8] 花成, 黄明, 黄辉, 等. RDX/HMX 炸药晶体内部缺陷表征与冲击波感度研究 [J]. *含能材料*, 2010, 18(2): 152–157.

HUA Cheng, HUANG Ming, HUNAG Hui, et al. Intragranular Defects and Shock Sensitivity of RDX/HMX [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2010, 18(2): 152–157.

Experimental study on the Shock Wave Sensitivity Response of Gun Propellant

CHEN Xiao-ming, JIN Peng-gang, ZHANG Heng, LIU Lai-dong, SONG Chang-wen, ZHANG Zou-zuo, ZHAO Ying

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

Abstract: The gun propellant shock wave sensitivity was investigated by the gap test, including single-base, double-base, triple-base and azide nitramine (DA) propellant with shape of globe, 6/7 and 17/19. The gun shock wave response of propellant was studied. The effects of gun propellant shape the shock wave sensitivity was investigated. Results indicate that the more energy ingredients (RDX, NG, DA), the higher the shock wave sensitivity of gun propellant is and the different kinds of energy ingredients affect the shock wave sensitivity differently. The bigger the gun propellant shape, the less the sample shock wave sensitivity is. On the base of these experiments, the concept of propellant ingredients shock wave sensitivity quantification count is putted forward, that can be used to study propellant shock wave sensitivity deep.

Key words: explosion mechanics; hazard classification; the gap test; shock wave sensitivity; gun propellant; mechanism

CLC number: TJ55; O38

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.06.020



《含能材料及相关物手册》出版

《含能材料及相关物手册》是首次出版的一本大型含能材料性能数据大全,该手册汇集了含能材料化合物的中英文名称、中英文别名、化学式、结构式、CAS号、密度、熔点、沸点、闪点、生成焓、燃烧热、比热容、吉布斯自由能、爆速、爆热、比容、爆压、爆发点、分解温度、真空安定性、撞(冲)击感度、摩擦感度、静电火花感度、外观、毒性、用途、储存运输条件等40多项的数据及说明,其中生成焓还列出了不同文献的数据,手册包含了航天、航空、兵器、化工、冶金等行业常用的性能数据,对推进剂、发射药、炸药的性能计算及对化工、冶炼过程热力学计算来说都必不可少。

该手册信息量大、数据齐全、编排合理,有中英文名称(含别名)、化学式索引,查找快捷、使用方便。对从事化学、化工及含能材料科研、教学和生产的师生、科技工作者有重要使用价值。它的出版对含能材料事业的发展将起到积极的促进和推动作用。

该手册已由国防工业出版社出版,书号 978-7-118-07785-8,全书 447 页,主编田德余、赵凤起、刘剑洪。