

文章编号: 1006-9941(2011)06-0715-05

# 子弹撞击对发射药易损性响应影响研究

张邹邹, 杨丽侠, 刘来东, 张衡

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

**摘要:** 选用单基药、双基药、太根药和硝基胍药等发射药, 采用速度为  $(850 \pm 20) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的 12.7 mm 标准穿甲弹撞击样弹, 研究子弹撞击机械刺激下发射药的易损性响应特性和影响因素。结果表明: 子弹撞击对发射药的易损性响应程度与发射药能量水平无明显对应关系, 但与其配方组分、药型以及子弹的穿透深度有一定关系; 约束条件对发射药子弹撞击下易损性响应影响明显, 发射药在强约束条件下发生燃烧甚至比燃烧更剧烈的反应, 而在弱约束条件下未发生燃烧反应。

**关键词:** 应用化学; 发射药; 子弹撞击; 易损性

**中图分类号:** TJ55; O69

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.06.025

## 1 引言

随着发射药向高能低敏感方向发展, 迫切需要建立发射药易损性评价方法, 近几十年来, 伴随着低易损弹药的发展, 西方各国在火炸药易损性检测评估方面, 作了大量的工作<sup>[1-3]</sup>, 已建立了一套较为完整的体系, 最典型和权威的有美国的 MIL-STD-2105C“非核弹药的危险性评估试验”、NATO 六国的 STANAG4439“不敏感弹药的引入、评价和试验政策”等<sup>[4-5]</sup>。可以认为<sup>[6]</sup>, 目前各国认可的典型刺激源分别是快速烤燃、慢速烤燃、子弹撞击、空心装药射流撞击、破片撞击、热碎片撞击、殉爆。其中, 子弹撞击易损性试验主要是模拟发射药在战场环境中可能会受到意外子弹撞击, 引起发射药易损性响应程度的评价方法。美国 MIL-STD-2105B 中子弹撞击易损性试验采用 1~3 个 0.5 英寸 M2 穿甲弹,  $(850 \pm 60) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  初速, 射击间隔  $(80 \pm 40) \text{ ms}$  撞击“真实全尺寸型”弹药, 在 MIL-STD-2105C 中采用 3 发 M2, 0.5 英寸口径的 AP 弹以  $(850 \pm 20) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  速度撞击弹药, 评估弹药的易损性<sup>[4]</sup>。国内在发射药的易损性评估方面, 尚未作系统的研究。二〇四所在 2004 年到 2005 年, 对外贸 155 mm 火炮用模块装药的易损性评估作了“射流撞击”和“子弹撞击”两项试验, 在国内首次结合型号对大口徑火炮用发射药进行了不敏感性试验和研究,

进行了危险性评估。当时, 采用的样品是单个“全尺寸型”模块, 包括发射药、中心传火管和可燃药筒等多个部件。

本研究在结合我国原有试验方法和美国 MIL-STD-2105C 的基础上, 采用 12.7 mm 标准弹单发单次撞击样弹的试验方法, 评价发射药的子弹撞击易损性能。在枪弹的高速撞击及摩擦等因素作用下, 部分机械能迅速转化为热能, 试样受到机械和热刺激后, 可能发生分解甚至燃烧或爆炸反应。观察试验现象及测量冲击波压力值, 研究发射药在子弹撞击下的易损性响应特性及影响规律, 可为我国建立发射药易损性的评价方法提供依据。

## 2 实验部分

根据我国现役发射药装备情况, 选用单基药(小药粒、大药粒)、双基药、大药粒的太根药和硝基胍药等典型发射药, 研究发射药配方、药型和约束条件等对发射药易损性响应的影响。

### 2.1 试验条件

试验选用制式 12.7 mm 标准穿甲燃烧弹撞击样弹, 枪口距离样弹 30 m, 子弹撞击速度:  $(850 \pm 20) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

样弹主要是模拟了我国中小口径火炮的装填条件、装填密度、壳体材料和厚度等。因此, 试验采用了两种约束条件, 分别为: 强约束条件(45# 钢封闭圆柱桶,  $\Phi 82 \text{ mm} \times 281 \text{ mm}$ , 厚度为 3 mm)和弱约束条件(密封圆柱桶, 壳体材料为 NC, 厚度为 2 mm)。

装填密度为  $0.8 \text{ kg/dm}^3$ , 见证板为 5 mm 厚 L 型

收稿日期: 2010-10-17; 修回日期: 2010-12-17

作者简介: 张邹邹(1979-), 女, 硕士, 主要从事发射药性能检测与评估研究。e-mail: zzz7910@163.com

45#钢板, 环境温度为 15 ~ 20 °C, 距样弹 4 m 距离处采用壁面传感器测冲击波压力。样弹装药量为 1000 g, 子弹撞击试验布局见图 1。

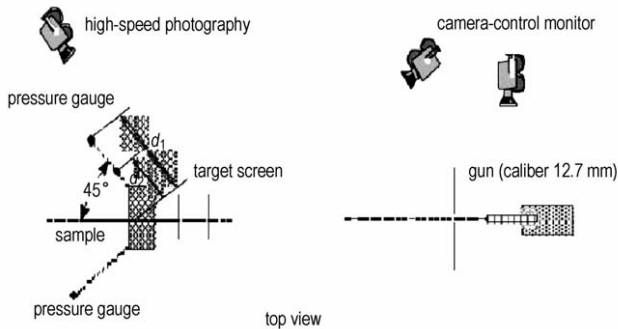


图 1 子弹撞击试验布局图

Fig. 1 "Typical" bullet impact test set-up

## 2.2 实验结果

试验采用 12.7 mm 标准穿甲燃烧弹单次单发撞击发射药样弹的径向中部位置, 试验平行两发, 其试验现象及结果一致性良好。

### 2.2.1 强约束条件下发射药子弹撞击试验结果

图 2 为发射药构件受到子弹撞击时的高速摄影截图, 图中圆圈中为壳体破片。图 3 为收集到的壳体破片状况。

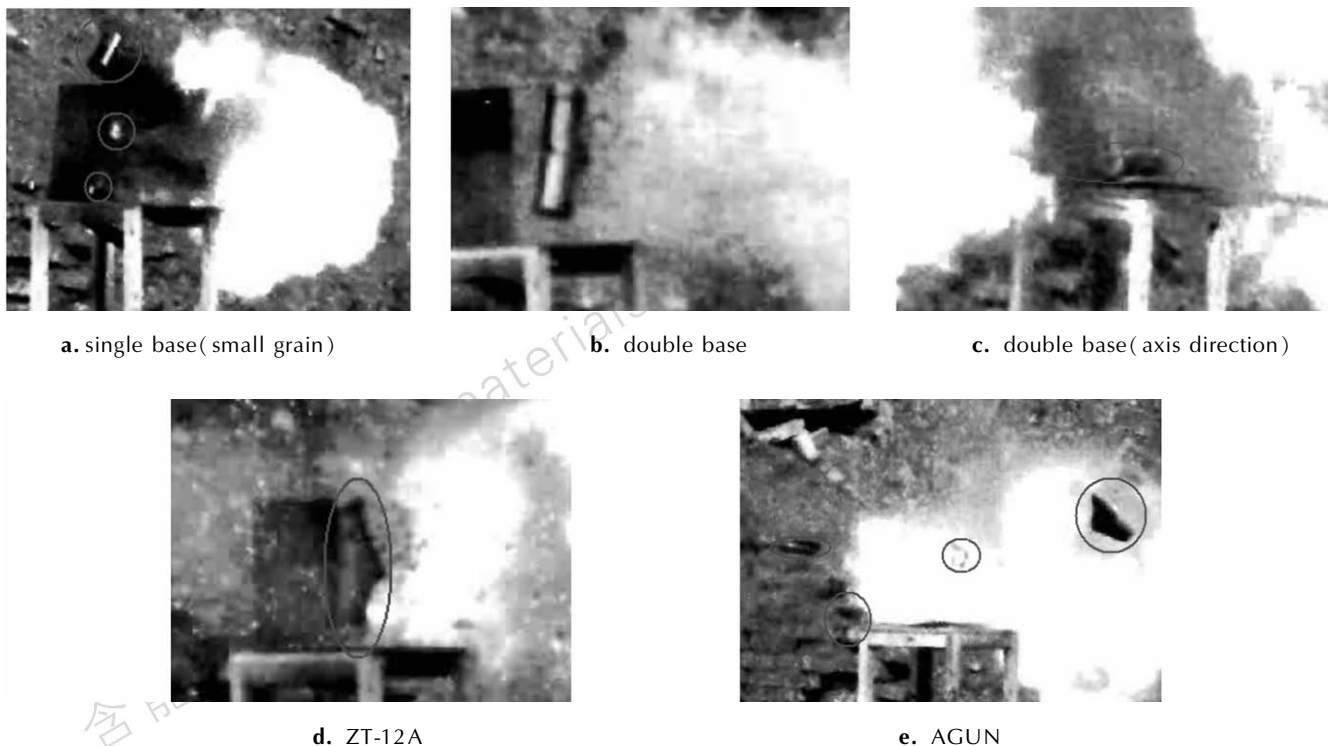


图 2 12.7 mm 标准弹撞击发射药试样(强约束)部分高速摄影截图

Fig. 2 The results of bullet impact test on strong qualification of gun propellents charge

双基药在子弹撞击穿透壳体撞裂管状药柱时, 少部分破裂成小碎片的药粒受到高速机械撞击和摩擦, 燃烧产生火焰, 但没有引起其它药柱的燃烧反应, 药柱仍留在壳体内。子弹轴向撞击样弹时, 壳体端盖受子弹撞击冲开, 明亮火焰从两端盖(子弹穿孔)方向喷射, 壳体内残留样品持续燃烧, 试验现场有少量残药。

小药粒单基药在受到子弹撞击时, 通过高速摄影可以看到发生了剧烈的反应, 壳体破裂成大块状, 破片最远飞至 25 m, 药粒燃烧产生明亮火焰, 部分未燃烧药粒四散。

太根药在子弹撞击穿透壳体时, 燃烧药粒喷出形成明亮火焰, 大量正在燃烧的药粒穿过火焰四散分布, 试验现场收集到许多表面有燃烧痕迹的残药, 未引起进一步的燃烧或爆炸发生。

硝基胍药样弹在子弹撞击时发出明亮火焰, 壳体破裂成几个大破片, 最远飞至 35 m, 药粒大部分燃烧, 试验现场飞散的药粒表面有燃烧痕迹, 见证板未变形。

根据发射药子弹撞击易损性响应试验中高速摄影照片、样弹残骸、L 型底见证板的变化, 以及冲击波压力值, 参考 MIL-STD-2105C 中关于含能材料易损性响应类型的描述, 认为这几种典型发射药在受到子弹意外撞击的反应类型如表 1。

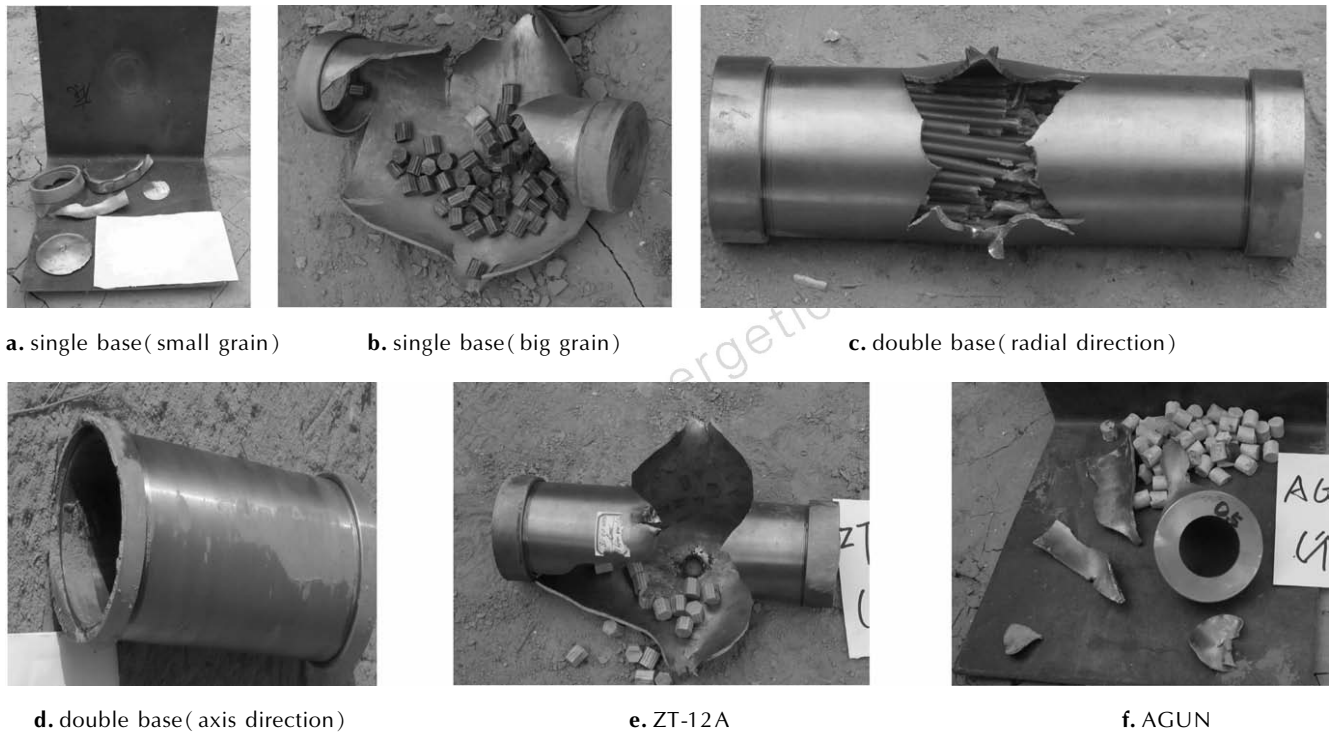


图3 强约束条件下子弹撞击易损性响应试验结果

Fig.3 Results of bullet impact test on strong qualification

表1 发射药子弹撞击易损性响应结果(强约束)

Table 1 Response status of bullet impact tests (strong restriction)

samples	pressure of shock wave /kPa	L-type witness plate	response type
single base (small grain)	5	concave	explosion
single base (big grain)		no reaction	burn
double base	/	no reaction	non-violent burn
double base (axis direction)	/	no reaction	burn
ZT-12A	5	no reaction	burn
AGUN	10.5	no reaction	explosion

表1中冲击波压力值为确定反应剧烈程度提供了一定的参考。

2.2.2 弱约束条件发射药子弹撞击试验结果

图4是模拟发射药模块装药条件,即弱约束条件下子弹撞击易损性响应结果。图中圆圈内为破裂的可燃壳体。

由图4可知,发射药-单基药、太根药、硝基胍药在弱约束条件下受到子弹撞击时,壳体破裂,药粒四散,从高速摄影来看,没有火焰出现。因此,可以认为发射药在弱约束条件下受到高速子弹撞击时无燃烧反应发生。

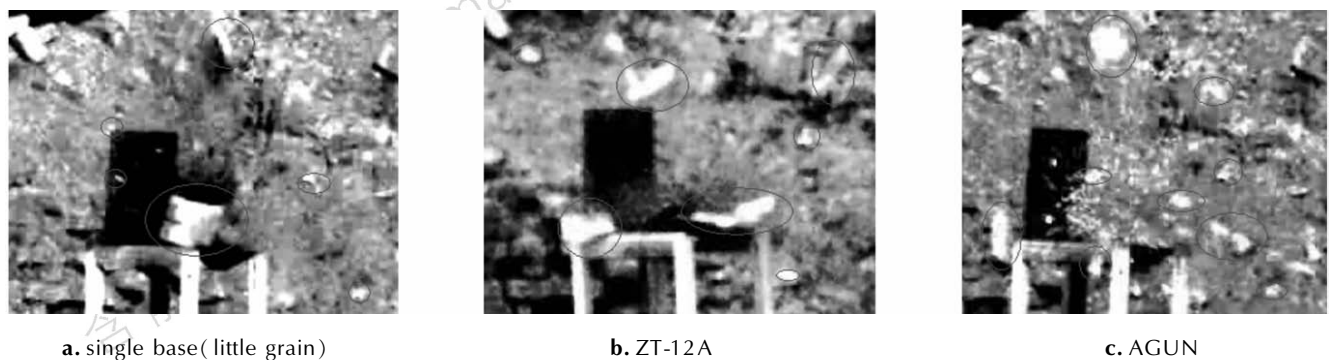


图4 12.7 mm 标准弹撞击发射药试样(弱约束)高速摄影截图

Fig.4 Results of bullet impact test on weakly qualification of gun propallents with 12.7 mm

### 3 结果分析

#### 3.1 不同配方发射药在子弹撞击下的易损性响应情况

由表 2 可知, 强约束条件下受到子弹撞击刺激后, 小药粒单基药、大药粒单基药、双基药、太根药以及硝基胍药发生了燃烧或爆炸等不同的响应, 根据高速摄影、残骸收集, 并参考冲击波压力大小, 发射药其易损性响应的剧烈程度由强至弱的顺序是: 硝基胍药、单基药、太根药、双基药。这种响应的剧烈程度与发射药能量水平没有直接的对应关系。

表 2 典型发射药配方组成及强约束下的响应

Table 2 Ingredient of the gun propellant and the response status (strong restriction)

samples	composition	$f$	$Q_v$	response type
single base	NC	950	3548	explosion/burn
double base	NC/NG	981.6	3187	burn
ZT-12A	NC/NG/TEGN	1127	4463	burn
AGUN	NC/NG/NGu	1044.3	3710	explosion

Note:  $f$  is force of propellant,  $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;  $Q$  is combustion heat of propellant,  $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$ .

尽管以 95% 以上 NC 为主要组分的单基药能量水平很低, 但由于 NC 燃点大约在 160 ~ 170 °C 范围内, 并且对摩擦、冲击极敏感, 在空气中燃烧极迅速, 180 °C 以上经短时间即发生爆炸<sup>[7]</sup>。因此, 当单基药初始燃烧面积较大时(小药粒), 在受到高速子弹撞击的摩擦刺激时发生点火和高温分解反应产生了大量的气体和热量, 能够在壳体内很快形成高温高压的环境, 发生超过燃烧的剧烈反应-爆炸; 而同样情况下大药粒单基药只发生燃烧反应。

双基药的发火点是 175 °C, 摩擦感度只有 2%, 而 18 °C 的冲击感度是 50%, 低于单基药(68%)<sup>[8]</sup>, 因此, 双基药径向受到子弹撞击时, 只是少量破碎的药粒发生了燃烧反应, 而轴向撞击即子弹穿深较深(径向穿深的 3.5 倍)时, 双基药较长时间受到高速子弹的摩擦刺激, 形成多个热点效应, 发生了燃烧反应。

太根药由于主要组分 TEGN 冲击感度较低<sup>[7]</sup>, 并且 TEGN 对 NC 有很好的溶解和增塑能力, 降低了 NC 对意外刺激的敏感性。因此, 太根药在受到子弹撞击时不会发生比单基药更剧烈的反应。

硝基胍药是在双基药基础上加入了有机晶体炸药 NGu, 发射药为非均相的异质结构, 在受到机械撞击时, 容易发生应力集中, 两相界面缝隙空穴较多, 药体

组织结构容易受到破坏, 部分机械能转化为热能, 在药体表面或内部形成热点, 热点处发生热分解, 热分解的放热反应使反应迅速增加, 在热点内形成强烈反应, 导致火药部分引燃或全部引燃, 在大的药量和密闭的壳体内, 聚集大量的热量和气体, 在壳体内形成高压, 冲破壳体形成碎片。因此, 在强约束条件下均发生了剧烈的爆炸效应。

根据不同典型配方子弹撞击易损性试验结果分析认为: 发射药在子弹撞击条件下易损性响应结果与能量水平无明显对应关系, 但与配方组分、药型以及子弹穿深度等有一定的影响关系。

#### 3.2 约束条件对发射药子弹撞击易损性响应影响

根据发射药在不同约束条件下的易损性响应结果, 即强约束条件下发生了燃烧或更剧烈的响应, 而在弱约束条件下仅仅是壳体受到子弹高速撞击破裂, 药粒四散, 无燃烧反应发生。可知约束条件对发射药子弹撞击易损性响应影响明显。

发射药在弱约束条件下受到高速子弹撞击没有燃烧反应发生, 这主要是由于弱约束是 NC 壳体, 在受到高速撞击时破裂, 发射药药粒四散, 造成热点无法集中、不能形成高温高压的局部环境。因此, 在弱约束条件下发射药不发生燃烧反应。

在强约束条件下, 发射药样品壳体受到高速子弹撞击破裂瞬间, 发射药药粒受到较高的温度流场和初始压力下的冲击和摩擦, 形成热点, 迅速分解燃烧, 发生剧烈的反应。由于不同典型配方的发射药对机械刺激和热刺激感度不同, 在受到子弹撞击时发生了不同的化学物理反应——燃烧或爆炸响应。

分析认为, 约束条件对发射药子弹撞击易损性响应的影响, 主要是因为发射药在受到子弹撞击时, 约束条件是否能够支持热点集中和局部高温高压环境的形成。一旦形成热点并在壳体内产生局部高温高压环境, 发射药就可能发生剧烈的燃烧或爆炸响应。

### 4 结论

(1) 在 12.7 mm 标准穿甲燃烧弹撞击下, 发射药易损性响应剧烈程度由强至弱的顺序是: 硝基胍药、单基药、太根药、双基药。

(2) 发射药在子弹撞击条件下易损性响应程度与能量水平无明显的对应关系, 但与配方组分、药型以及子弹穿透装药深度等有关。

(3) 约束条件对发射药子弹撞击易损性响应影响明显。在强约束条件下发射药发生了燃烧甚至比燃烧

更剧烈的反应,而在弱约束条件下未发生燃烧反应。

#### 参考文献:

- [1] NAVSEA Indian Head Division & Sandia National Laboratories. Validation experiments for modeling slow cook-off [C] // Proceedings of 12th International Detonation Symposium, San Diego, CA, Office of Naval Research, 2002.
- [2] Jean Isler, Jean G Goliger. IM and O-D rules: An analysis by French club MURAT [S]. Club MURAT-BP 129, 78-148 Velizy Cedex, France.
- [3] Chris Leach, Jim Kelly. Factors affecting the vulnerability of composite LOVA gun propellants [C] // Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology Symposium, 2000.
- [4] MIL-STD-2105C. Hazard assessment tests for non-nuclear munition [S]. 2003. 7.
- [5] Jean Isler, Jean G Goliger. IM and O-D rules: An analysis by French club MURAT [S]. Club MURAT-BP 129, 78-148 Velizy Cedex, France.
- [6] 王泽山. 火炸药理论与实践 [M]. 北京: 中国北方化学工业总公司, 2001: 326-327.
- [7] 蒲若瑜, 杨泊清, 易景缎, 等. 火炸药手册. 原材料 (第四分册) [M]. 西安: 兵器工业部第二〇四所, 1987.
- [8] 刘继华. 火药物理化学性能 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1997.

### Vulnerable Response of Gun Propellant by Bullet Impact Test

ZHANG Zou-zou, YANG Li-xia, LIU Lai-dong, ZHANG Heng

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

**Abstract:** The response characteristics and the impact factors of typical propellant charges were discussed in terms of general methods of tailoring the propellants to counter mechanical threats by the bullet impact, where bullet type is a 12.7 mm armor-piercing projectile, and the impact velocity is  $(850 \pm 20) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . The results show that there are obvious correlations with the propellant compositions, forms and the piercing depth in the vulnerability response extents by the bullet impacts, but the energy level of propellants. Also, there are obvious influence on the propellant vulnerability response for the restrained conditions to the propellants. The typical propellants have no violent reaction in the weaker restrained conditions.

**Key words:** applied chemistry; propellant; bullet impact; vulnerability

**CLC number:** TJ55; O69

**Document code:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.06.025