

文章编号: 1006-9941(2008)02-0201-03

# 纤维对无壳弹发射药感度和自燃的影响

马忠亮, 田苏明, 刘幼平, 肖忠良

(中北大学化工与环境学院, 山西 太原 030051)

**摘要:** 为了研究含有纤维的无壳弹发射药安全性, 通过测试含有碳纤维素(CF)或精制棉的无壳弹发射药 5 s 延滞期爆发点、撞击感度和模拟枪膛试验的自然温度, 分析碳纤维含量、长度和精制棉对无壳弹发射药安全性能和模拟枪膛试验的自然温度影响。实验结果表明: 无壳弹发射药中加入 0.5% ~ 1.5%、长度为 10 mm 的碳纤维有利于降低撞击感度; 纤维的加入提高了无壳弹发射药的耐热性, 在相同温度下延长抗自燃时间。

**关键词:** 应用化学; 无壳弹; 安全性能; 撞击感度; 自燃

**中图分类号:** TQ562; TJ55

**文献标识码:** A

## 1 引言

无壳弹是一种集底火、发射药、弹丸为一体, 不采用金属外壳的新型轻武器弹药。它主要由发射药、可燃底火、传爆药、弹丸、塑料帽等组成, 无壳弹由于去掉了几近占全弹重量一半左右的金属壳, 因此不仅减轻了弹重, 而且增加了单兵的携弹量, 从而达到了提高火力、增强战斗力、节省金属、降低成本之目的<sup>[1-2]</sup>。无壳弹发射药药柱的制备中采用的整体成型发泡工艺<sup>[3]</sup>可以改善无壳弹的点火性能和燃烧性能<sup>[4-5]</sup>, 但是发泡工艺会使药柱力学性能相对降低, 因此为了提高无壳弹药的力学性能, 一般添加一定长度的单一纤维如碳纤维(外加 0.1% ~ 10%)或混合纤维(碳纤维与精制棉)。实践证明, 由于碳纤维的结构特征, 纤维在药柱中形成网状结构, 具有骨架支撑作用, 在发泡无壳弹药柱内部空穴之间形成桥梁结构, 起到连接作用, 因而有效改善了无壳弹发射药的力学性能<sup>[6-8]</sup>。

本研究测试了含有不同含量、长度碳纤维和精制棉的无壳弹发射药撞击感度、5 s 爆发点和模拟枪膛自燃温度、时间, 探讨了纤维对无壳弹发射药药柱的安全性影响, 为无壳弹发射药进一步研究提供基础实验数据。

## 2 实验部分

### 2.1 无壳弹试样制备

以基本配方 HMX/粘结剂为前提, 将配制的粘结剂与超细化的 HMX 在捏合机中混合、塑化, 加入一定量所需长度的碳纤维和精制棉, 同时加入其他辅助材

料并补加所需溶剂(乙酸乙酯)量, 在 40 °C 恒温下泡化 60 ~ 70 min, 快速测定发射药物料中的溶剂含量, 确定是否可以进行压制成型。利用单柱液压机挤压, 压制成为具有一定形状的预成型药柱, 将预成型药柱在含有乙酸乙酯液的静态平衡仪中放置 30 ~ 40 min, 采用专用模具固定预成型药柱在甘油浴中进行加热发泡, 发泡温度为 90 °C, 发泡时间为 8 ~ 10 min, 制得无壳弹发射药试样。试样制备方案见表 1, 试样制备的工艺流程如图 1 所示。

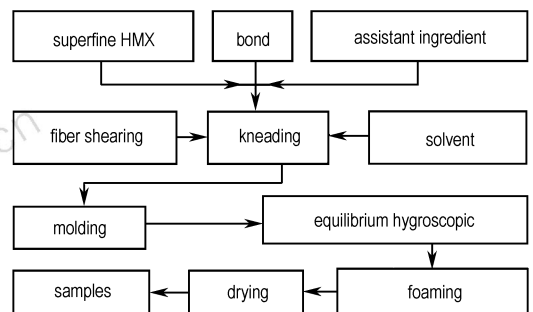


图 1 无壳弹工艺流程图

Fig. 1 Preparation process of caseless ammunition

表 1 无壳弹试样制备方案

Table 1 Experiment project for production of caseless ammunition samples

number	type of fiber	content of fiber/%	length of fiber/mm
1	carbon fiber	0.5	5
2	carbon fiber	0.5	10
3	carbon fiber	0.5	20
4	carbon fiber	1.5	10
5	carbon fiber	3	10
6	cellulose	2	5
7	carbon fiber	0.5	5

收稿日期: 2007-08-06; 修回日期: 2007-11-20

作者简介: 马忠亮(1967-), 男, 副教授, 从事新型发射药工艺和装药研究。e-mail: ma19960512@sohu.com

## 2.2 测 试

(1) 5 s 延滞期爆发点测定, 根据 GJB 770A - 97 606.1<sup>[9]</sup>。

(2) 撞击感度测定, 根据 GJB770A - 97 601.1<sup>[9]</sup>, 以爆炸百分数表示撞击感度, 装药量为  $(50 \pm 1)$  mg, 落锤质量  $(5000 \pm 10)$  g, 降落高度为  $(250 \pm 1)$  mm。

(3) 模拟枪膛自燃时间测定

无壳弹膛内自燃模拟装置是一种类似身管武器燃烧室的装置, 通过外部加热方式获得预定的某一恒定的弹膛温度, 将试样送入药室内并借助于测试仪器系统记录此温度下的抗自燃时间, 根据所记录温度和抗自燃时间可推断无壳弹的自燃规律以及各种影响因素。模拟枪膛实验装置如图 2 所示。装药量为一个完整无壳弹发射药药柱。根据要求一般在  $290 \sim 350$  °C 进行测试。

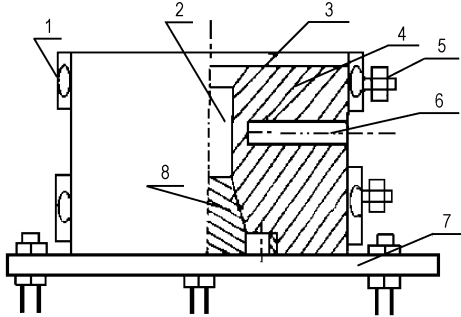


图 2 模拟枪膛实验装置

1—螺孔, 2—弹膛, 3—加热夹套, 4—保温套, 5—接线柱, 6—温度计, 7—支架, 8—底座

Fig.2 The simulating chamber test equipment

1—screw, 2—chamber, 3—heating sleeve, 4—heat preservation sleeve, 5—connection pole, 6—thermometer, 7—bracket, 8—pedestal

## 3 结果与分析

### 3.1 纤维对无壳弹发射药 5 s 爆发点和撞击感度的影响

爆发点是指在一定条件下, 将火药加热到爆燃时加热介质的最低温度。在某一温度下, 将火药加热到爆燃所需要的时间叫做火药的爆发延滞期。很明显, 温度越高, 爆发延滞期就越短, 所以爆发点通常与延滞期相关联。为了确定爆发点, 实际中规定延滞期为 5 s 或 5 min, 本实验测定 5 s 爆发点。爆发点反映火药的热感度或者耐热性, 爆发点越高, 火药耐热性越高。

六种无壳弹发射药试样及空白试样(试样 7)的 5 s 爆发点和撞击感度测试结果见表 2。从表 2 可知, 纤维加入量的多少和纤维的长度对无壳弹发射药的 5 s 延滞期爆发点有一定的影响。影响的趋势是随着

纤维的加入, 无壳弹发射药爆发点总体有所提高。如添加碳纤维的 1~5 配方和使用混合纤维(碳纤维和精制棉纤维)的试样 6 均高于空白试样 7 的爆发点  $280.5$  °C。因此, 在无壳弹发射药中加入纤维有利于提高其耐热性。但是, 从实验结果可知在研究的纤维加入量和长度范围内, 碳纤维长度和加入量对无壳弹发射药爆发点影响的变化规律不明显。

表 2 5 s 爆发点和撞击感度

Table 2 Results of impact sensitivity and ignition point of 5 s delay

number	ignition point of 5 s delay/°C	impact sensitivity/%
1	283.1	93.3
2	289.5	84
3	299.5	100
4	289.1	78
5	292.5	96
6	282.2	90
7	280.5	96

Note: Sample 7 is the basic prescription.

从表 2 可得, 纤维较短且纤维含量较低时撞击感度下降, 如 2、4 号试样和添加混合纤维 6 号试样的撞击感度均比空白试样 7 的撞击感度低; 纤维长度或含量增加, 发射药的撞击感度升高, 如 3 和 5 号试样的撞击感度分别为 100%、96%。这主要是因为纤维较短, 含量数量较少, 形成热点的热能被纤维迁移。当纤维加长, 而含量较高时, 一方面撞击产生热, 另一方面纤维过长, 造成纤维卷曲, 即力学性能中的无效纤维造成纤维间的摩擦也产生热, 形成多热点, 热量不能及时被传导, 因此引起火药燃烧或爆炸。

### 3.2 模拟枪膛试验结果分析

在射击过程中, 火药燃烧使枪膛内产生高温, 对无壳弹装药来说, 由于没有金属弹壳的保护, 当其在膛内贮存时, 与炽热的膛壁接触过程中很容易引起过早点火或称之为自燃, 这直接威胁射手的安全。模拟枪膛试验, 可以为研究无壳弹的自燃规律, 解决自燃问题提供实验依据。

图 3 中可看到, 纤维种类不同、含量不同都会影响无壳弹发射药的抗自燃时间。在相同温度下, 添加纤维的无壳弹发射药抗自燃时间均长于空白试样 7 的抗自燃时间, 在  $300 \sim 320$  °C 范围内表现的比较明显。采用混合纤维的 6 号试样抗自燃时间比单独使用碳纤维的无壳弹发射药的时间短。但是随着温度的升高, 它们之间的差距越来越小。如  $300$  °C 时, 6 号试样与 1 号相差  $13.2$  s; 在  $350$  °C 时, 两者仅相差  $0.2$  s。因为, 精制棉的

热传导比碳纤维差,在低温时外部热量较低,碳纤维的热传导起到明显作用,所以两者的抗自燃时间差明显加大;随着温度的升高,热辐射越来越强烈,纤维的热传导的作用相对减少,两者的抗自燃时间差值则明显缩小。由此可见在无壳弹发射药中,优先选择碳纤维作为增强材料,在满足力学性能和能量性能下,添加0.5%以上的碳纤维可延长发射药的抗自燃时间。

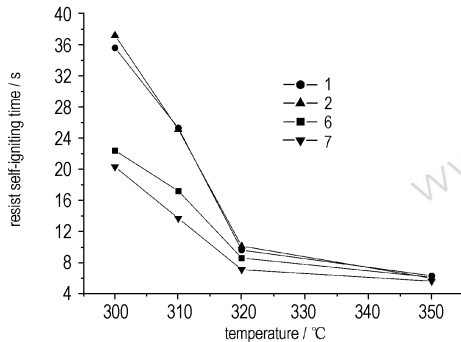


图3 模拟枪膛实验结果

Fig. 3 The results of simulating chamber test

## 4 结论

(1) 碳纤维和精制棉的加入,明显影响无壳弹发射药的热感度和撞击感度。随着纤维的加入,无壳弹发射药爆点提高了2~19℃。无壳弹发射药中加入0.5%~1.5%、长度为10 mm碳纤维利于降低撞击感度。

(2) 添加碳纤维的无壳弹发射药的抗自燃性优于含有混合纤维(精制棉/碳纤维)的无壳弹发射药,随着温度的升高影响程度降低。在满足力学性能和能量性能下,优先选择碳纤维作为发射药的增强材料。在无壳弹发射药中添加0.5%以上的碳纤维,在相同温度下可延长发射药的抗自燃时间。

## 参考文献:

- [1] 张宪荣. 无壳弹药研制概况[J]. 火炸药学报,1996(2): 46-48.  
ZHANG Xian-rong. A study on IR imaging seeker designing technique [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*,1996(2): 46-48.
- [2] 廖昕,黄振亚,杨文宝. 高燃点发射药作为无壳弹装药的可行性分析[J]. 弹道学报,2001,13(1): 32-34.  
LIAO Xin,HUANG Zhen-ya,YANG Wen-bao. Study on high ignition temperature propellant for caseless ammunition [J]. *Journal of Ballistics*,2001,13(1): 32-34.
- [3] 滕学锋,李旭利,王国强. 一种新工艺在耐热无壳弹中的应用[J]. 火炸药学报,2002(3): 64-65.  
TENG Xue-feng, LI Xu-li, WANG Guo-qiang. The novel process applied to a heat-resistant caseless ammunition [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*,2002(3): 64-65.
- [4] 宋志强. 无壳弹和袖套药筒燃烧性能对比研究[J]. 西安石油大学学报(自然科学版),2006,21(3): 61-65.  
SONG Zhi-qiang. Comparative study on the combustion performances of caseless ammunition and sleeve-type casing ammunition [J]. *Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition)*,2006,21(3): 61-65.
- [5] 徐赛龙,白晓涓,马忠亮,等. 粘结剂对耐热无壳弹发射药燃烧性能的影响[J]. 含能材料,1999,7(3): 169-171.  
XU Sai-long, BAI Xiao-juan, MA Zhong-liang, et al. Effect of binder on combustion behaviors of heat-resisting caseless ammunition [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*,1999,7(3): 169-171.
- [6] 殷雅侠,刘艳秋,肖忠良,等. 碳纤维对无壳弹发射药燃烧性能影响的研究[J]. 弹道学报,2000,12(1): 21-24.  
YIN Ya-xia, LIU Yan-qiu, XIAO Zhong-liang, et al. The study effect of carbon fiber on burning properties of caseless ammunition [J]. *Journal of Ballistics*,2000,12(1): 21-24.
- [7] 沈鹤年. 碳纤维的结构与性能[J]. 合成研究,1987(5): 45-51.  
SHEN He-nian. The carbon fiber's structure property [J]. *Synthesizing Research*,1987(5): 45-51.
- [8] Benntt S C, Josen D J. Strength-structure relationships in PSN-based card fibers [J]. *Journal of Materials Science*,1983(18): 3337-3347.
- [9] GJB770A-爆点5 s 延滞期法[S]. 1997.

## Effects of Fiber on Sensitivity and Spontaneous Combustion of Caseless Ammunition

MA Zhong-liang, TIAN Su-ming, LIU You-ping, XIAO Zhong-liang

(School of Chemical Engineering and Environment, North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** The effect of refined cotton, carbon fiber content and length on the safety of caseless ammunition and self-ignition temperature of simulating bore test was analyzed by testing the ignition point of 5 s delay of the propellants containing carbon fiber or refined cotton, impact sensitivity and temperature of simulating bore test. Results show that the impact sensitivity of the caseless ammunition is depressed when adding carbon fiber with content of 0.5% - 1.5% and length of 10 mm, the anti-spontaneous-combustion temperature is hoisted by adding carbon fiber and the anti-spontaneous-combustion time is prolonged at the same temperature.

**Key words:** applied chemistry; caseless ammunition; safety; impact sensitivity; spontaneous combustion