

## 某固体云爆剂老化前后的安全性研究

赵方超<sup>1,2</sup>, 黄文明<sup>1,2</sup>, 李泽华<sup>1,2</sup>, 罗天元<sup>1,2</sup>

(1. 西南技术工程研究所, 重庆 400039; 2. 国防科技工业自然环境试验研究中心, 重庆 400039)

**摘要:** **目的** 研究某型固体云爆剂老化后的使用安全性。**方法** 采用真空安定性试验仪按 GJB 772A—97 方法 501.2 测试老化前后样品的安定性、相容性, 采用感度设备按 GJB 772A—97 中的相应方法分别测试老化前后样品的撞击感度、摩擦感度以及火焰感度。**结果** 云爆剂老化前后, 每克试样在标准状态下的放气量均远远小于 2 mL, 安定性均合格。样品老化前后火焰感度试验均未爆, 撞击感度和摩擦感度均在样品在失重 1% 时最高, 当样品老化至失重 1.5% 时, 爆炸概率反而比失重 1% 样品的降低。**结论** 该型固体云爆剂老化前后均具有良好的安全性, 老化失重达到 1.5% 后, 仍能满足安全使用要求。

**关键词:** 固体云爆剂; 安定性; 相容性; 感度

**DOI:** 10.7643/issn.1672-9242.2014.04.022

**中图分类号:** TJ410.89 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2014)04-0112-04

### Security Study of a SE-FAE before and after Aging

ZHAO Fang-chao<sup>1,2</sup>, HUANG Wen-ming<sup>1,2</sup>, LI Ze-hua<sup>1,2</sup>, LUO Tian-yuan<sup>1,2</sup>

(1. No. 59 Institute of China Ordnance Industry, Chongqing 400039, China; 2. Natural Environment Test and Research Center of Science, Technology and Industry for National Defense, Chongqing 400039, China)

**ABSTRACT: Objective** To study the use security of a SE-FAE after aging. **Methods** The stability and compatibility of the SE-FAE before and after aging were tested using vacuum stability test instrument according to method 501.2 in GJB 772A—97, at the same time, its impact sensitivity, friction sensitivity and flame sensitivity were tested by Sensitivity equipment according to the corresponding method in GJB 772A—97. **Results** The outgassing amount per gram samples before and after aging under standard condition were all much smaller than 2 ml, therefore their stability was all qualified. All the samples before and after aging did not explode in flame sensitivity experiment, both the impact and friction sensitivity were highest with an aging loss of 1.0%. When the aging loss of the samples reached 1.5%, the explosion probability was lower than the samples with an aging loss of 1.0%. **Conclusion** This SE-FAE had good security both before and after aging, and it could still meet the security use requirements after the aging loss reached 1.5%.

**KEY WORDS:** SE-FAE; stability; compatibility; sensitivity

收稿日期: 2014-05-25; 修订日期: 2014-06-18

Received: 2014-05-25; Revised: 2014-06-18

作者简介: 赵方超(1987—),男,河南卫辉人,硕士,助理工程师,主要研究方向为弹箭贮存寿命试验与评价技术。

**Biography:** ZHAO Fang-chao(1987—), Male, from Weihui, Henan, Master, Assistant engineer, Research focus: testing and evaluation techniques of Storage life for Projectiles.

固体云爆剂属于第三代固体复合型燃料,代表了近年来燃料空气炸药发展的最新成果。相对于前两代燃料空气炸药而言,它可以提高弹道精度和爆炸稳定性,简化弹体结构,减轻弹体质量,提高装药密度,增大威力。我国对液固复合型云爆剂的爆炸特性、失效机理、贮存化学稳定性以及混合燃料的内相容性等曾开展过较为全面的研究<sup>[1-5]</sup>,但就固体云爆剂而言,限于时间较短,其老化后的安全性数据积累十分欠缺,因此无法准确掌握药剂老化后的使用安全性。基于此方面的需求,文中以某型固体云爆剂为对象,进行了加速老化前后的安全性研究。

## 1 试验

对于含能材料而言,其安全性主要表现在自身的安定以及与设计接触材料相容两个方面。文中在研究固体云爆剂安定性和相容性时,选择了国际认可度较高的真空安定性试验,同时对云爆剂进行了相关感度试验,研究了其老化前后对外界作用的敏感性。

### 1.1 真空安定性试验

固体云爆剂的主体成分为黑索今,因此可将之视为炸药类产品,美军标 MIL-STD-1751《炸药安全性与性能鉴定试验》第 5.6.5.2 条规定“任何原因引起的大于 1% 的失重(不包含水分减少)或大于 1% 的不规则尺寸变化通常予以拒收”<sup>[6]</sup>,即认为炸药失效。为深入研究该型固体云爆剂的安全性能,文中选取老化后样品质量损失为 1% 和 1.5% 的两组样品。原始样品、质量损失 1% 样品和 1.5% 样品分别编号为 A<sub>1</sub><sup>#</sup>、A<sub>2</sub><sup>#</sup>、A<sub>3</sub><sup>#</sup>,每样取(5.00±0.01)g。

试验仪器为 YC-1C 型真空安定性试验仪(中国兵器工业第二〇四研究所)。

按 GJB 772A—97《方法 501.2 真空安定性试验压力传感器法》进行试验。将样品在(55±2)℃真空烘箱中预处理 2 h 后,真空条件下置于(100±0.5)℃加热炉中连续加热 48 h。

每克试样在标准状态下的放气量不大于 2 mL,安定性合格。试样在标准状态下释放的放气量按式(1)计算:

$$V = 2.69 \times 10^{-3} \frac{P}{T} (V_0 - V_G) \quad (1)$$

式中:V 为试样在标准状态下释放的气体体积(简称放气量),mL;2.69×10<sup>-3</sup>为标准状态下温度与压力的比值,K/Pa;P 为试样释放的气体压力,Pa;V<sub>0</sub>为反应器容积和测压连接管路容积之和;V<sub>G</sub>为试样体积(试样质量除以真密度);T 为实验室温度,K。

试样分解释放气体压力值及放气体积结果见表 1。

表 1 固体云爆剂老化前后真空安定性试验结果

Table 1 Vacuum stability test results of SE-FAE before and after aging

样品编号	放气压力值 P/kPa				每克试样放气量 V/(mL·g <sup>-1</sup> )
A <sub>1</sub> <sup>#</sup>	1.5	1.8	1.5	1.60	0.15
A <sub>2</sub> <sup>#</sup>	1.0	0.7	0.8	0.83	0.08
A <sub>3</sub> <sup>#</sup>	0.6	0.7	0.9	0.73	0.07

### 1.2 相容性试验

国内外对于炸药和弹药内、外涂料以及底漆的相容性研究十分重视,其中,美军标和 1972 年再次重申有效的军用规范对于炸药和涂料、底漆的相容性评价规定是十分明确而严格的<sup>[7]</sup>。固体云爆剂属于新型药剂,其装药同样必须在相容性试验合格后方可进行。为研究该固体云爆剂贮存老化对其与接触材料相容性的影响,设计了以下试验组合,具体见表 2。

表 2 相容性试验样品组合情况

Table 2 Sample combinations for compatibility test

样品组合编号	组合
B <sub>1</sub> <sup>#</sup>	云爆剂原始样+硅橡胶
B <sub>2</sub> <sup>#</sup>	云爆剂 1% 失重+硅橡胶
B <sub>3</sub> <sup>#</sup>	云爆剂 1.5% 失重+硅橡胶
B <sub>4</sub> <sup>#</sup>	云爆剂原始样+E11-91 军绿阴极电泳漆
B <sub>5</sub> <sup>#</sup>	云爆剂 1% 失重+E11-91 军绿阴极电泳漆
B <sub>6</sub> <sup>#</sup>	云爆剂 1.5% 失重+E11-91 军绿阴极电泳漆
B <sub>7</sub> <sup>#</sup>	云爆剂原始样+环氧面漆
B <sub>8</sub> <sup>#</sup>	云爆剂 1% 失重+环氧面漆
B <sub>9</sub> <sup>#</sup>	云爆剂 1.5% 失重+环氧面漆

每单一试样取(2.50±0.01)g,混合试样(5.00±0.01)g,混合质量比为 1:1。

试验仪器为 YC-1C 型真空安定性试验仪。

按 GJB 772A—97《方法 501.2 真空安定性试验压力传感器法》进行试验。将样品在  $(55 \pm 2)^\circ\text{C}$  真空烘箱中预处理 2 h 后,真空条件下置于  $(100 \pm 0.5)^\circ\text{C}$  加热炉中连续加热 40 h。

判定标准: $R < 3.0$ , 相容; $3.0 \leq R \leq 5.0$ , 中等反应; $R > 5.0$ , 不相容。

反应净增放气量  $R$  按式(2)进行计算:

$$R = V_C - (V_A + V_B) \quad (2)$$

式中: $R$  为反应净增放气量, mL; $V_C$  为混合试样放气量, mL; $V_A$  为火炸药试样放气量, mL; $V_B$  为接触材料放气量, mL。

9 组试验样品的相容性测试结果见表 3。

表 3 固体云爆剂与典型接触材料的相容性试验结果

Table 3 Results of compatibility test between SE-FAE and typical contact materials

样品组合编号	$R/\text{mL}$	相容性等级
$B_1^{\#}$	-0.239	相容
$B_2^{\#}$	0.087	相容
$B_3^{\#}$	-0.064	相容
$B_4^{\#}$	1.669	相容
$B_5^{\#}$	1.633	相容
$B_6^{\#}$	1.635	相容
$B_7^{\#}$	-0.193	相容
$B_8^{\#}$	0.079	相容
$B_9^{\#}$	0.035	相容

### 1.3 感度试验

感度试验分为 3 组,分别为原始样品、质量损失 1% 和 1.5% 样品,对应编号为  $C_1^{\#}$ ,  $C_2^{\#}$ ,  $C_3^{\#}$ 。

试验仪器(中国兵器工业第二一三研究所):撞击感度为 WL-I 型落锤仪、摩擦感度为 MGY-I 型摩感仪、火焰感度为 HGY-II 型火焰感度仪。

三种感度试验依据的试验方法及具体试验条件见表 4。

样品的感度试验结果见表 5。

### 1.4 常见炸药感度

一些常见炸药的撞击感度值和摩擦感度值见表 6<sup>[8]</sup>。

表 4 三种感度试验方法及试验条件

Table 4 Three sensitivity test methods and the test conditions

测试项目	试验方法	试验条件
撞击感度	GJB 772A—97《方法 601.1 爆炸概率法》	10 kg 落锤, 25 cm 落高, 50 mg 药量
摩擦感度	GJB 772A—97《方法 602.1 爆炸概率法》	1.5 kg 摆锤, 90° 摆角, 3.92 MPa 表压, 30 mg 药量
火焰感度	GJB 772A—97《方法 604.1 导火索法》	导火索距云爆剂 0 mm

表 5 固体云爆剂感度测试结果

Table 5 Sensitivity test results of SE-FAE

样品编号	撞击感度 (爆炸分数/%)	摩擦感度 (爆炸分数/%)	火焰感度 (爆炸分数/%)
$C_1^{\#}$	24	8	0
$C_2^{\#}$	40	20	0
$C_3^{\#}$	16	16	0

表 6 GJB 条件下常见炸药的撞击感度和摩擦感度

Table 6 Impact sensitivity and friction sensitivity of common explosives tested in GJB conditions

炸药名称	撞击感度 <sup>1</sup> (爆炸分数/%)	摩擦感度 <sup>2</sup> (爆炸分数/%)
梯恩梯	4 ~ 8	2
阿马托	20 ~ 30	-
苦味酸	24 ~ 32	-
特屈儿	50 ~ 60	8 ~ 24
黑索今	70 ~ 80	48 ~ 64
奥克托今	72 ~ 80	76
硝基胍	-	0
太安	100	100

注 1:落锤质量为 10 kg,落高为 25 cm,炸药质量为 50 mg,25 次试验为 1 组。

注 2:摆角为 90°,表压为 3.92 MPa,每次试样质量为 20 mg,25 次试验为 1 组。

## 2 讨论

1) 火炸药材料在贮存过程中,常以缓慢的速度进行着分解反应,个别组分挥发、升华等,放出微量气体,因此放气量是衡量火炸药材料安定性的一个

重要指标。从表1中的数据可以看出,云爆剂老化前后,每克试样在标准状态下的放气量均远小于2 mL,因此该云爆剂老化前后安定性均合格。另外,原始样品的放气量大于老化后,这是因为试验样品在老化过程中,易受热分解挥发的组分已在减重期间挥发,而样品可能尚未达到加速分解放气阶段,因此,老化后试样反而呈现放气量减少现象。

2) 由表中的数据可知,固体云爆剂老化前后与3种典型接触材料的相容性并未发生本质变化,说明固体云爆剂本身的老化并未对其与接触材料的相容性产生大的影响。固体云爆剂作为战备武器能源材料贮存一定时间后,只要不超过一定的老化程度,即可满足装药相容性要求,但必须注意到火炸药材料一旦装填于炮弹内,将与其接触材料长时间处于直接接触贮存状态,本组试验结果不适用于该状态下的相容性判定。

3) 由表5可以看出,采用导火索距离云爆剂0 mm点火引爆时,失重前后的样品均未出现爆炸现象。说明该型固体云爆剂本身对火焰不敏感,同时表明样品老化前后火焰安全性均合格。撞击感和摩擦感度变化的共同点是:样品在质量损失为1%时两种感度均最高;当样品老化至质量损失1.5%时,爆炸概率反而比1%样品的低,即撞击感和摩擦感度降低。该现象与真空安定性试验中1.5%样品放气量小于1%样品放气量的现象相吻合。

从安全性角度考虑,人们往往希望战斗部装药材料是钝感的。结合表6中常见炸药的撞击感和摩擦感度数据进行对比,该型固体云爆剂老化前后的撞击感度、摩擦感度均不能算高,说明该固体云爆剂的危险性较低,具有很好的生产、运输、贮存和使用安全性。

### 3 结语

该型固体云爆剂老化前后均具有良好的安全性,老化质量损失达到1.5%后,仍能满足安全使用要求。对于固体云爆剂而言,如果简单套用炸药失效标准“质量损失1%”作为其失效判据显然不甚合理,建议专项研究适合于固体云爆剂的专用失效判据。

### 参考文献:

- [1] 陈瑛,刘家聪,解立峰,等.液固复合云爆药剂爆炸特性的试验研究[J].含能材料,2004,12(3):134—137.  
CHEN Ying, LIU Jia-cong, XIE Li-feng, et al. Experimental Study on Explosion Performance of SEFAE[J]. Energetic Materials, 2004, 12(3): 134—137.
- [2] 陶金华. FAE 碳氢燃料失效机理研究[D].南京:南京理工大学,1999.  
TAO Jin-hua. Study on failure theory of hydrocarbon fuel [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 1999.
- [3] 宣卫芳.云爆剂贮存化学稳定性的研究[J].装备环境工程,2007,4(3):1—4.  
XUAN Wei-fang. Study of Chemical Stability of Fuel Air Explosives in Storage Environment [J]. Equipment Environmental Engineering, 2007, 4(3): 1—4.
- [4] 徐森,刘大斌,惠君明,等.燃料空气炸药中混合燃料的内相容性[J].火炸药学报,2008,31(4):46—49.  
XU Sen, LIU Da-bin, HUI Jun-ming, et al. Internal Compatibility of Mixed Fuel in Fuel Air Explosives [J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2008, 31(4): 46—49.
- [5] 王阵,李海广,贾旭东,等.储存条件下云爆火箭弹云爆剂质量变化研究[J].装备环境工程,2012,9(3):82—85.  
WANG Zhen, LI Hai-guang, BEN Xun-dong, et al. Research on Deterioration of Rocket FAE under Storage Condition [J]. Equipment Environmental Engineering, 2012, 9(3): 82—85.
- [6] 张清爽,胡双启. X 弹头 B 部件装药贮存寿命研究[J].火工品,2003(1):26—28.  
ZHANG Qing-shuang, HU Shuang-qi. Study on the Storage Life of Explosive Part B in X Warhead [J]. Initiators & Pyrotechnics, 2003(1): 26—28.
- [7] 曾一冰,张廉正,于翹.聚合物与含能材料的相容性[J].导弹与航天运载技术,1995(5):53—55.  
ZENG Ying-bing, ZHANG Lian-zheng, YU Qiao. Compatibility of Energetic Materials with Polymers [J]. Missiles and Space Vehicles, 1995(5): 53—55.
- [8] 肖忠良,胡双启.火炸药的安全与环保技术[M].北京:北京理工大学出版社,2006.  
XIAO Zhong-liang, HU Shuang-qi. Safety and Environmental Technology of Explosives [M]. Beijing: Beijing Institute Technology Publishing House, 2006.