

文章编号: 1006-9941(2010)02-0188-04

RB 型硝胺发射药使用寿命实验研究

廖昕, 堵平, 王泽山

(南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094)

摘要: 为了更准确地预测发射药的有效使用期,提出了以发射药力学性能变化的数据作为老化失效判据的观点。采用热加速老化试验的方法,研究了含黑索今双基药(RB 型硝胺发射药)的抗冲、抗压强度、压缩率随老化和温度变化的规律。结果表明,该型发射药在安全贮存期内,高分子材料老化降解造成的力学性能下降,不会影响其安全使用。RB 型硝胺发射药的使用寿命远大于安全贮存寿命。

关键词: 材料学; RB 硝胺发射药; 使用寿命; 贮存寿命; 力学性能; 热加速老化

中图分类号: TJ55; TQ562

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.02.014

1 前言

武器系统贮存寿命是指在规定的条件下能够贮存的期限,在此期限内武器系统的性能和可靠性仍可满足规定的要求^[1]。发射药是武器装备的重要组成部分,对其有效使用寿命的评估具有一定的实际意义。目前主要的研究方法基本上都采用热老化加速试验法,但研究内容和研究判据各不相同。一些研究以热加速老化前后的射击弹道性能变化率作为判据^[2],一些研究则通过监测发射药内部与贮存紧密相关的成分变化来预估寿命,如研究分析发射药中安定剂含量的变化,从而判断其贮存安全寿命^[3-7]。另外,还出现了一种新型的考虑多因素变化的弹药使用寿命的预测方法,称为神经网络法^[8-9],可以得到较为满意的预测结果。

含黑索今的双基药(RB 型硝胺发射药),是我国目前技术比较成熟、能量最高、强度尚好、燃烧性能基本稳定的新型发射药。大、中、小口径的多次弹道试验表明,该发射药内弹道性能基本上满足了高性能火炮发射装药的要求。而且作者前期研究中进行的以安定剂消耗量为判据的热加速老化安全贮存寿命的试验表明,RB 型硝胺发射药可贮存 25~26 年。但是,由于

RB 型硝胺发射药有大量的硝化棉高分子材料,特别是加入了一种烯类聚合物(PB)新型大分子材料,所以发射药的贮存寿命受到一定影响,武器的弹道安全性能也受到威胁。因此,有必要对 RB 硝胺发射药老化过程中力学性能的变化以及使用寿命进行研究。

在实际应用时,由于发射药贮存和使用寿命的丧失最主要表现为其力学性能的变劣,甚至影响射击安全性,因此,本文并未采用大多数的针对安定剂的研究方法,而是主要研究发射药在老化过程中力学性能的变化,可以更为直观地了解发射药使用寿命逐渐丧失的过程,更准确地预估发射药的使用寿命。

随着高膛压火炮的发展,国、内外火药工作者研究了三基发射药,但由于其力学性能难以满足需求,美国当时就提出了发展具有双基发射药力学性能与三基发射药能量特性的高膛压武器用新型发射药的要求^[10]。而且,在常规条件下,发射药的低温抗冲强度,直接影响着火炮的发射安全性和弹道安全性。因此,本试验主要以 18/19RB 型硝胺发射药为研究对象,以双基药的典型——制式双芳-3 发射药的低温抗冲强度作为使用寿命终点的比较标准(双芳-3 发射药的低温抗冲强度 $\sigma = 0.42 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$),当 RB 型硝胺发射药的低温抗冲强度低于双芳-3 时,则认为该发射药已达到其使用寿命终点,不可再使用。

2 试验

发射药在正常贮存条件下,其老化强度变化缓慢,若达到贮存寿命年限,需要几年甚至几十年的漫长时

收稿日期: 2009-05-05; 修回日期: 2009-09-24

基金项目: 国家安全重大基础研究项目(No. 61340)

作者简介: 廖昕(1961-),男,博士,副研究员,研究方向为含能材料。

e-mail: Liaoxin331@163.com

通讯作者: 堵平(1969-),男,博士,从事含能材料装药设计研究。

e-mail: dp1314@163.com

间。RB 型硝胺发射药组成中有 40% 的高分子材料, 根据该发射药的组成特点, 即具有粘弹高分子材料的响应, 应用时温等效原理, 采用热加速老化强度试验, 测试发射药在不同温度下老化后的力学性能, 根据力学性能的变化规律, 判断和预估其使用寿命。

试验方案如下:

(1) 试验样品: 18/19RB 型硝胺发射药, 自制;

(2) 试验设备: AHX-871 安全型水浴烘箱, 南京理工大学机电总厂; 3367 精密万能材料试验机, 美国 Instron 公司。

(3) 试验方法: 将一定量的 RB 型硝胺发射药放置于安全型水浴烘箱中, 分别在 65, 75, 85, 95 °C 下, 按照表 1 ~ 表 4 中规定的时间间隔, 取出部分发射药样品, 在精密万能材料试验机上进行抗冲强度、抗压强度、压缩率等力学性能的跟踪测试。

3 结果与讨论

RB 型硝胺发射药热加速老化强度试验结果见表 1 ~ 表 4 所示。

表 1 65 °C 下 RB 型硝胺发射药热老化强度试验结果

Table 1 Testing results of thermal-ageing strength of RB nitramine propellant at 65 °C

| time/d | impact strength/ $J \cdot cm^{-2}$ | | compression strength/MPa | | compressibility/% | |
|--------|------------------------------------|--------|--------------------------|--------|-------------------|--------|
| | 20 °C | -40 °C | +50 °C | -40 °C | +50 °C | -40 °C |
| 0 | 2.3 | 0.5 | 10.9 | 117.6 | 50.9 | 12.3 |
| 21 | 1.8 | 0.4 | 18.4 | 118.3 | 47.1 | 16.4 |
| 43 | 2.0 | 0.4 | 17.2 | 129.0 | 53.8 | 17.5 |
| 85 | 1.9 | 0.4 | 13.5 | 106.2 | 56.9 | 19.6 |
| 127 | 1.7 | 0.3 | 14.2 | 125.0 | 53.6 | 18.5 |
| 148 | 1.6 | 0.4 | 12.3 | 98.8 | 47.0 | 15.5 |
| 169 | 1.5 | 0.3 | 10.1 | 123.0 | 62.3 | 18.3 |
| 211 | 1.2 | 0.3 | 9.7 | 98.0 | 34.9 | 18.0 |
| 232 | 1.1 | 0.2 | 11.1 | 137.0 | | |
| 253 | 1.3 | 0.1 | 10.4 | 116.0 | 52.4 | 15.0 |
| 274 | 1.1 | 0.2 | 10.5 | 120.0 | 48.2 | 15.0 |
| 295 | 1.0 | 0.2 | 9.7 | 120.0 | 46.3 | 18.0 |

表 2 75 °C 下 RB 型硝胺发射药热老化强度试验结果

Table 2 Testing results of thermal-ageing strength of RB nitramine propellant at 75 °C

| time/d | impact strength/ $J \cdot cm^{-2}$ | | compression strength/MPa | | compressibility/% | |
|--------|------------------------------------|--------|--------------------------|--------|-------------------|--------|
| | 20 °C | -40 °C | +50 °C | -40 °C | +50 °C | -40 °C |
| 0 | 2.3 | 0.5 | 10.9 | 117.6 | 50.9 | 12.3 |
| 21 | 1.7 | 0.4 | 17.2 | 119.6 | 51.1 | 18.2 |
| 43 | 1.6 | 0.4 | 14.9 | 119.0 | 55.1 | 17.5 |
| 64 | 1.5 | 0.3 | 10.3 | 116.0 | 47.3 | 17.2 |
| 85 | 1.3 | 0.3 | 9.6 | 104.8 | 49.8 | 19.8 |
| 106 | 1.3 | 0.3 | 9.3 | 107.0 | 49.6 | 16.3 |
| 127 | 0.9 | 0.2 | 9.9 | 128.0 | 46.0 | 16.8 |
| 148 | 1.2 | 0.1 | 10.1 | 100.0 | 41.5 | 14.9 |

表 3 85 °C 下 RB 型硝胺发射药热老化强度试验结果

Table 3 Testing results of thermal-ageing strength of RB nitramine propellant at 85 °C

| time/d | impact strength/ $J \cdot cm^{-2}$ | | compression strength/MPa | | compressibility/% | |
|--------|------------------------------------|--------|--------------------------|--------|-------------------|--------|
| | 20 °C | -40 °C | +50 °C | -40 °C | +50 °C | -40 °C |
| 0 | 2.3 | 0.5 | 10.9 | 117.6 | 50.9 | 12.3 |
| 2 | 2.0 | 0.4 | 17.6 | 126.0 | 57.7 | 17.0 |
| 5 | 2.0 | 0.4 | 17.4 | 123.0 | 56.4 | 17.8 |
| 7 | 2.0 | 0.3 | 16.7 | 102.0 | 57.6 | 17.3 |
| 14 | 1.5 | 0.2 | 12.8 | 116.4 | 58.0 | 18.1 |
| 21 | 1.3 | 0.3 | 12.1 | 117.0 | 48.7 | 18.4 |

表 4 95 °C 下 RB 型硝胺发射药热老化强度试验结果

Table 4 Testing results of thermal-ageing strength of RB nitramine propellant at 95 °C

| time/d | impact strength/ $J \cdot cm^{-2}$ | | compression strength/MPa | | compressibility/% | |
|--------|------------------------------------|--------|--------------------------|--------|-------------------|--------|
| | 20 °C | -40 °C | +50 °C | -40 °C | +50 °C | -40 °C |
| 0 | 2.25 | 0.526 | 10.9 | 117.6 | 50.9 | 12.3 |
| 2 | 1.83 | 0.27 | 14.5 | 105.8 | 60.4 | 15.2 |
| 4 | 1.35 | 0.22 | 12.3 | 107.2 | 57.6 | 16.5 |
| 6 | 1.18 | 0.17 | 11 | 113.4 | 56.4 | 17.7 |

上述试验结果表明,对于 RB 型硝胺发射药,随着老化时间的增加,其抗压强度、压缩率变化值比较小,而抗冲强度,特别是低温抗冲强度,随着时间的增加,其下降较为明显。

以制式双芳-3 发射药的低温抗冲强度作为使用寿命终点的比较标准,对试验结果进行归纳,并进行常温条件下的使用寿命推算。根据实验结果作低温抗冲强度(σ)-贮存时间(t)曲线,如图 1 所示,从该图各对应温度曲线找出强度标准($\sigma = 0.42 J \cdot cm^{-2}$)下的使用寿命。作使用寿命(t)~温度(T)曲线,如图 2 所示,并对该图进行外推,推至常温下的使用寿命。

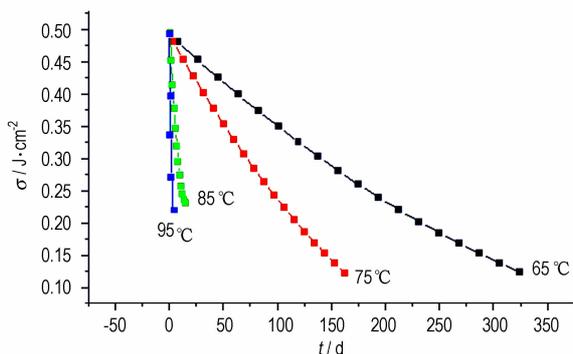


图 1 不同温度下 RB 型硝胺发射药低温抗冲强度随时间变化的关系曲线

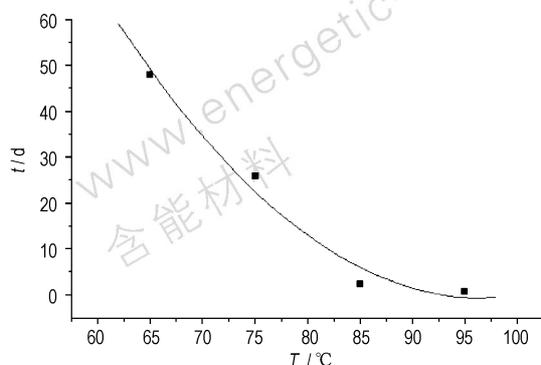
Fig. 1 σ - t curves of RB nitramine propellant at different temperatures

图 2 RB 型硝胺发射药使用寿命与温度的关系曲线

Fig. 2 t - T curve of RB nitramine propellant

分析图 1 和图 2 发现, RB 型硝胺发射药热加速老化强度与老化时间的关系,使用寿命与老化温度的关系,都可以拟合阿累尼乌斯方程的形式。

$$\ln t = \ln A - \alpha T$$

式中, t 为发射药使用寿命; A 、 α 为常数; T 为温度。

对数据分析并进行回归计算,得到各温度点相对应的老化使用寿命时间,结果见表 5。

表 5 RB 型硝胺发射药相应温度点的使用寿命

Table 5 Service life of RB nitramine propellant at corresponding temperatures

| temperature/°C | 65 | 75 | 85 | 95 |
|----------------|------|------|-----|------|
| time/d | 47.9 | 25.9 | 2.4 | 0.54 |

最后对热加速老化使用寿命回归计算,求得贮存温度与寿命终点的实验式为:

$$\ln t = 14.51 - 0.158 T$$

根据我国幅原辽阔,南北地区温差较大的特点,对发射药的使用寿命可以 30 °C 为贮存条件,进行寿命推算。从而可推算出, RB 型硝胺发射药在 30 °C 下长期贮存的使用寿命可达 17500.8 d (47.9 年)。

4 结 论

根据安定剂消耗量为判据的 RB 型硝胺发射药安全寿命试验结果表明,在 30 °C 条件下,其安全贮存寿命为 25 ~ 26 年。而本试验根据力学性能下降得出的使用寿命可达 47 ~ 48 年之久。由此可见, RB 型硝胺发射药,虽然含有大量的硝化棉高分子材料以及 PB 新型大分子材料,但长期贮存后的使用寿命还是远远大于安全贮存寿命,所以, RB 型硝胺发射药在安全贮存期限内,高分子材料老化降解造成的力学性能下降,将不会影响该发射药的安全使用。

参考文献:

- [1] 周塍, 罗天元, 张伦武. 弹药贮存寿命预测预报技术综述[J]. 装备环境工程, 2005, 2(2): 6-11.

- ZHOU Kun, LUO Tian-yuan, ZHANG Lun-wu. Prediction techniques for storage life of missiles [J]. *Equipment Environmental Engineering (Zhuangbei Huanjing Gongcheng)*, 2005, 2(2): 6-11.
- [2] 刘子如, 潘统学, 衡淑云. 单基发射药弹道可靠度和可靠贮存寿命 [J]. *弹道学报*, 1994, 21(3): 31-38.
LIU Zi-ru, PAN Tong-xue, HENG Shu-yun. The reliability and reliable storage life of ballistics for a single-base propellant [J]. *Journal of Ballistics (Dandao Xuebao)*, 1994, 21(3): 31-38.
- [3] 衡淑云, 韩芳, 周继华, 等. 高能发射药有效安定剂消耗反应动力学研究 [J]. *含能材料*, 2008, 16(5): 494-497.
HENG Shu-yun, HAN Fang, ZHOU Ji-hua, et al. The kinetics of the effective stabilizer consumption reaction in high energy gun propellants [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2008, 16(5): 494-497.
- [4] 杜仕国. 发射药的分解机理及其安定性研究 [J]. *军械工程学院学报*, 1994, 6(1): 30-34.
DU Shi-guo. Study of the decomposition mechanism and the stability of propellant [J]. *Journal of Ordnance Engineering College (Junxie Gongcheng Xueyuan Xuebao)*, 1994, 6(1): 30-34.
- [5] 李海昌, 郭芳筠. 发射药加速寿命试验的相关性研究 [J]. *火炸药*, 1996(3): 25-27
LI Hai-chang, GUO Fang-jun. Accelerated life test correlativity research of gun propellant [J]. *Propellants and Explosives (Huozhayao)*, 1996(3): 25-27.
- [6] 衡淑云, 韩芳, 张林军, 等. 硝酸酯火药安全贮存寿命的预估方法和结果 [J]. *火炸药学报*, 2006, 29(4): 71-76.
HENG Shu-yun, HAN Fang, ZHANG Lin-jun, et al. Estimation method and results of safe storage life for nitrate ester propellants [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants (Huozhayao Xuebao)*, 2006, 29(4): 71-76.
- [7] 郑波, 宋新民, 姜志保, 等. 一种评估库存发射药安全贮存寿命的方法 [J]. *火炸药学报*, 2005, 28(2): 29-31.
ZHENG Bo, SONG Xin-min, JIANG Zhi-bao, et al. A kind of method on estimating the safe storage life of propellant in depot storage [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants (Huozhayao Xuebao)*, 2005, 28(2): 29-31.
- [8] 刘沃野, 蒙占海. 基于神经网络的库存枪弹储存寿命预测研究 [J]. *军械工程学院学报*, 2001, 13(3): 12-15.
LIU Wo-ye, MENG Zhan-hai. Research on forecasting stocklife of storage bullets by neural network [J]. *Journal of Ordnance Engineering College (Junxie Gongcheng Xueyuan Xuebao)*, 2001, 13(3): 12-15.
- [9] 吕延龙, 曹营军, 田春雷. 用神经网络技术预测库存发射药安全寿命的可行性 [J]. *火炸药学报*, 2003, 26(1): 68-73.
LU Yan-long, CAO Ying-jun, TIAN Chun-lei. Prediction of safe life of propellant by artificial neural networks [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants (Huozhayao Xuebao)*, 2003, 26(1): 68-73.
- [10] 中国北方化学工业总公司. 火炸药理论与实践 [M]. 北京: 中国北方化学工业总公司, 2001: 313-314.
China North Chemical Industries Corporation. Theory and Practise of Propellant & Explosive [M]. Beijing: China North Chemical Industries Corporation, 2001: 313-314.

Service Life of RB Nitramine Propellant

LIAO Xin, DU Ping, WANG Ze-shan

(Chemical School of Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: In order to predict the service life of propellant exactly, data change of mechanical properties was used to estimate ageing failure of propellant. Adopting the method of heat-accelerated ageing test, the relationship between the mechanical properties including impact strength, compression strength and compressibility and ageing time and temperature were studied. Results show that the decline of mechanical properties of polymer materials caused by ageing, decay will not influence the safety service of RB nitramine propellant, and the service life of RB nitramine propellant exceeds its safety storage life obviously.

Key words: materials science; RB nitramine propellant; service life; storage life; mechanical property; heat-accelerative ageing

CLC number: TJ55; TQ562

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.02.014