

某枪弹在三种典型大气环境长期贮存后的性能变化研究

黄波^{1,2*}, 吴茜¹, 刘静¹, 张凯¹, 陈源¹

(1.西南技术工程研究所, 重庆 400039; 2.北京理工大学, 北京 100081)

摘要: 目的 摸清某枪弹长期贮存后的性能底数, 支撑新研枪弹及发射药设计与改进、长贮寿命指标考核与验证。方法 采集湿热海洋气候、暖湿酸雨气候、寒冷气候 3 种典型大气环境下贮存 13 a 某枪弹的外观、膛压、射击密集度等性能数据, 分析研究该型枪弹在不同贮存环境下的性能变化, 以及环境影响的差异。结果 该枪弹在完好的包装状态下, 在 3 种典型大气环境库房贮存 13 a 后, 枪弹长度、全形、质量、底火、密封性均满足验收规范的规定, 无明显变化, 而在热带海洋气候贮存的枪弹, 最大膛压略超出设计指标要求。结论 影响枪弹长贮性能的主要环境因素为温度, 拔弹力、最大膛压、射击密集度等指标, 与贮存环境温度强相关, 温度越高, 拔弹力越大, 最大膛压值越大, 射击密集度越低。

关键词: 枪弹; 典型大气环境; 长期贮存; 温度; 钝感剂迁移; 膛压; 射击密集度

中图分类号: TJ411

文献标志码: A

文章编号: 1672-9242(2024)10-0034-05

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2024.10.004

Performance Changes of a Certain Type of Bullet after Long-term Storage under Three Typical Atmospheric Environments

HUANG Bo^{1,2*}, WU Qian¹, LIU Jing¹, ZHANG Kai¹, CHEN Yuan¹

(1. Southwest Institute of Technology and Engineering, Chongqing 400039, China;

2. Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

ABSTRACT: The work aims to clarify the performance characteristics of a certain type of bullets from China after long-term storage, and support the design and improvement of newly developed bullets and propellants, as well as the assessment and verification of long-term storage life criteria. Performance data such as appearance, chamber pressure, and shooting density of a certain type of bullets stored under three typical atmospheric conditions (hot humid marine climate, warm wetacid rain climate, and cold climate) for 13 years were collected. The performance changes of this type of bullets under different storage environments, as well as the differences in environmental impacts were analyzed. After 13 years of storage in warehouses with three typical atmospheric environments while in good packaging conditions, the length, full shape, weight, primer, and sealability of the bullets all met the requirements of acceptance specifications without significant change. However, for the bullets stored in tropical marine climate, the maximum chamber pressure exceeded the design index requirements. In conclusion, the main environmental factor affecting the long-term storage performance of bullets is temperature. Indicators such as extraction force, maxi-

收稿日期: 2024-08-04; 修订日期: 2024-08-20

Received: 2024-08-04; Revised: 2024-08-20

引文格式: 黄波, 吴茜, 刘静, 等. 某枪弹在三种典型大气环境长期贮存后的性能变化研究[J]. 装备环境工程, 2024, 21(10): 34-38.

HUANG Bo, WU Qian, LIU Jing, et al. Performance Changes of a Certain Type of Bullet after Long-term Storage under Three Typical Atmospheric Environments[J]. Equipment Environmental Engineering, 2024, 21(10): 34-38.

*通信作者 (Corresponding author)

imum chamber pressure, and shooting density are strongly correlated with the storage environment temperature. The higher the temperature, the greater the extraction force, the larger the maximum chamber pressure value, and the lower the shooting density.

KEY WORDS: bullet; typical atmospheric environment; long-term storage; temperature; dose form migration; chamber pressure; firing intensity

枪弹是各类武器中应用最广、消耗最多的一种弹药,是“长期贮存,一次性使用”的产品,枪弹生产使用具有生产量大、贮存数量多的特点,年生产量数亿发,贮存数量更是巨大。某枪弹是我国自行设计、制造的小口径枪弹,具有质量轻、威力大、密集度好等特点。该枪弹由弹头、弹壳、底火和发射药组成^[1]。在该枪弹研制设计指标中,对贮存寿命指标有明确要求。之前,国内对枪弹长期贮存后的性能考核主要采用实验室加速试验,这种快速试验通常不能真实反映实际贮存后性能变化。

本文通过采集某枪弹在 3 种典型大气环境下长贮 13 a 的环境效应数据,摸清了某枪弹长贮后性能底数,研究明确了不同贮存环境对枪弹性能变化的影响,对于支撑枪弹贮存寿命指标考核、枪弹及发射药设计改进有一定意义。

1 自然环境试验

1.1 试验条件和试验环境

该批枪弹分别贮存于某湿热海洋气候环境库房(以下简称 A 库房)、某暖湿酸雨气候环境库房(以下简称 B 库房)、某寒冷气候环境库房(以下简称 C 库房),贮存时间为 13 a,共 4 500 发,包装方式为制式包装,被试品贮存环境及包装方式见表 1。

表 1 被试品基本信息

Tab.1 Basic information of test sample

贮存地点	数量/发	包装状态
A 库房	1 500	第一层:纸盒
B 库房	1 500	第二层:铝塑真空袋
C 库房	1 500	第三层:塑料包装箱

该批枪弹贮存库房环境因素如下:

A 库房气温最高为 38.4 °C,最低为 10.3 °C,年温度超过 20 °C 的时间比例约 90%,年温度超过 30 °C 的时间比例约 28%,年最大温差为 27 °C。相对湿度最高为 100%,相对湿度最低为 40%,相对湿度超过 70% 的时间比例约 85%,年最大湿度差为 56%^[2]。

B 库房气温最高为 43.1 °C,最低为 0.2 °C,年温度超过 20 °C 的时间比例约 48%,年温度超过 30 °C 的时间比例约 14%,年最大温差为 42.9 °C。相对湿度最高为 100%,最低为 29%,超过 70% 的时间比例为

69%,年最大湿度差为 66%^[2]。

C 库房贮存气温最高为 27.2 °C,最低为 -25.8 °C,年温度低于 -20 °C 的时间比例约 18%,年温度低于 0 °C 的时间比例约 48%,年温度超过 20 °C 的时间比例约 5%,年温度超过 30 °C 的时间比例为 0,年最大温差为 51.5 °C,相对湿度最高为 95%,最低为 21%,超过 70% 的时间比例为 33%,年最大湿度差为 68%^[2]。

1.2 检测项目与检测方法

根据该枪弹产品规范、制造与验收要求、GJB 3196.20A—2005 枪弹试验方法等,确定了内外包装、外观尺寸、密封性、速度测试等 8 个项目,具体检测项目及测试方法见表 2。

2 结果及分析

1) 包装。3 个库房贮存的枪弹外包装均完好,无破裂、长霉、变色等现象发生,内包装无失封、无鼓泡现象发生,贮存环境对其无明显影响。

2) 外观、尺寸。3 个库房贮存枪弹均无明显腐蚀现象。A 库房和 B 库房贮存枪弹弹头均有轻微变色,相比 C 贮存枪弹颜色稍深,其中 A 库房贮存弹颜色暗于 B 库房,而 C 库房贮存枪弹与新枪弹外观基本一致。3 个库房枪弹的长度、全形、质量、底火装入深度均满足设计制造验收要求,贮存环境对其无明显影响。

3) 密封性。枪弹浸水密封性试验后,所有枪弹均符合验收规范要求,枪弹同一部位连续出现的气泡数在规定范围内。

4) 拔弹力。拔弹力最大值出现在 A 库房贮存枪弹,为 1 253 N,最小值出现在 B 库房贮存枪弹,为 320 N,接近指标合格区间下限,而 A、B、C 等 3 个库房贮存枪弹的拔弹力平均值分别为 992、883、819 N。3 个库房长贮的枪弹拔弹力都在指标范围内,但存在一定的规律性,如图 1 所示。3 个贮存地区拔弹力平均值、最大值对比规律一致,即湿热海洋气候环境最高,暖湿酸雨气候环境次之,寒冷气候环境最低。另外,根据试验数据分析出,A 库房贮存枪弹的拔弹力主要在高区间值(900~1 300 N),B 库房贮存枪弹主要在中区间值(800~1 000 N),C 库房贮存枪弹主要在低区间值(300~900 N)。

表2 检测项目及测试方法
Tab.2 Testing items and methods

序号	检测项目	检测内容	测试环境	主要测试/试验设备	测试方法	各库房试验用弹/发
1	包装检查	包装箱、铝塑袋	室内、室温	/	目视检查	/
2	外观、尺寸	腐蚀情况、弹头弹壳底火尺寸	室内、室温	外观检选机 尺寸检测机	自动检查	1 500
3	密封性试验	枪弹密封性	室内、室温	盛水容器 温度计	目视检查	80
4	拔弹力测定	弹头与弹壳间结合力	室内、室温	专用拔弹机	自动加载至弹头脱离弹壳止, 记录数据	80
5	底火撞击感度试验	底火撞击感度及撞击曲线试验	室内 16~28 °C, 相对湿度 75%以下	底火落锤仪	上限、下限试验, 记录落高	上限: 200 下限: 200
6	速度测试	枪弹初速值	室温, 靶场平均风速不超过 5 m/s	测速靶 电子计时仪	平行射击, 记录弹头经历测速靶的飞行时间	20×2×3
7	膛压测试	枪弹最大膛压的测试	射击室温度(20±2) °C	测压铜柱 铜柱测压器	根据铜柱压后高度, 从压力表查出相应值	10×2×3
8	射击密集度	枪弹射击密集度	室外, 地面风速不超过 5 m/s	专用枪架靶架	单发射击, 计算机自动记录	60

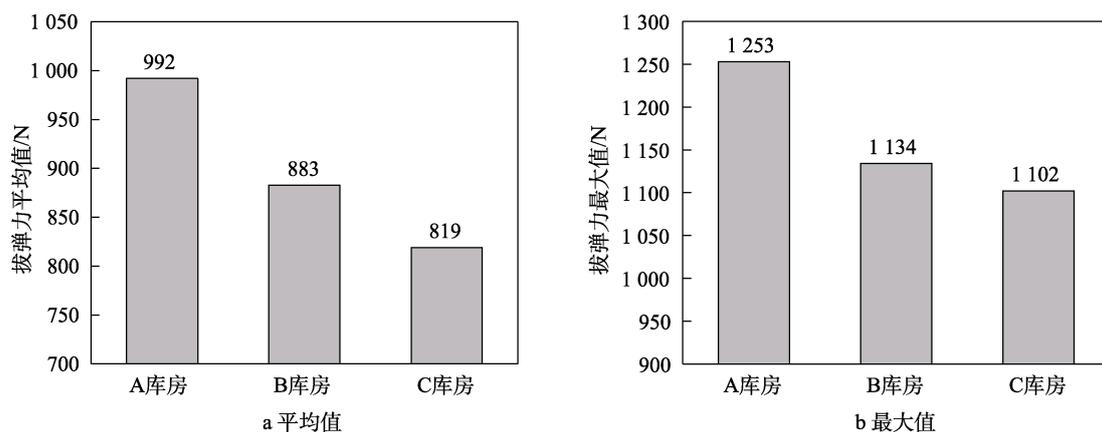


图1 3个贮存地区拔弹力平均值、最大值对比

Fig.1 Comparison of average and maximum pull-out forces in three storage areas:
a) comparison of average values; b) comparison of maximum values

枪弹拔弹力反映的是弹头和弹壳间结合力的大小, 拔弹力是指将弹头从弹壳中拔出所施加的最大力值。分析认为, 枪弹拔弹力大小与弹壳结合部位涂覆的 L01-22 沥青清漆密切相关, 完成装配的枪弹初期, 拔弹力主要表现为弹壳与弹头之间的摩擦力, 力的大小主要与弹头与弹壳过盈配合产生的径向压力 N 和 L01-22 沥青清漆的摩擦系数 u 有关, $F=u \times N$ 。由于沥青清漆为软质涂层, 随着贮存时间增长, 弹壳上的沥青清漆会与弹头表面产生一定的黏结作用, 拔弹力主要表现为摩擦力 F 和黏结剪切力 f 之和。贮存地区温度越高 (如 A 库房, 年均温度达到 24.9 °C), 分子运动越剧烈, 沥青清漆越软, 更易扩大弹壳与弹头之间的黏结面积。同时, 由于弹头表面存在一定的粗糙度, 沥青清漆更易扩散全弹头表面的坑巴处, 产生更好的

黏结效果, 拔弹所克服的剪切力也会越大。而温度越低 (如 C 库房年均温度仅为 -1.6 °C), 分子运动速度越小, 沥青清漆越硬, 扩散性越差, 黏结效果越差, 拔弹所克服的剪切力也会越小。相关文献资料也表明^[3], 贮存环境温度对枪弹拔弹力有显著的影响, 拔弹力的高低与贮存环境温度呈正相关性的规律分布。

5) 底火撞击感度。试验结果为上线发火率均为 100%, 下限发火率为 0%, 满足指标要求。

6) 速度。试验结果见表 3, 可以看出, A 库房和 B 库房贮存枪弹的初速平均值均在 950 m/s 以上, 而 A、B 库房贮存枪弹初始最小值均大于 C 库房枪弹。

7) 膛压。各地的 2 组枪弹最大膛压平均值从大到小依次为 A、B、C 库房贮存枪弹, 其中 A 库房的 2 组膛压值超出指标规定的上限值 (283.3 MPa), B

库房、C 库房贮存枪弹的膛压值在指标范围内, 如图 2 所示。结合贮存环境因素分析结果, 发现贮存地域枪弹膛压值由大到小与贮存环境年平均温度由高到低规律一致, 即贮存地域温度越高, 枪弹膛压越高。另外从图 3 可知, 3 个库房贮存枪弹的最大膛压最大值均在指标范围内, 其中 A 库房和 B 库房枪弹最大膛压的最大值基本相当, 而明显高于 C 库房贮存枪弹, 高约 7%。

该枪弹用发射药为钝感双基药, 由硝化棉经过硝

表 3 速度测试结果
Tab.3 Speed test results

库房	组别	m/s			
		平均值	最大值	最小值	速度差
A	1	955	965	946	19
	2	957	968	947	21
B	1	958	969	950	19
	2	956	970	941	29
C	1	949	968	934	34
	2	948	955	934	21

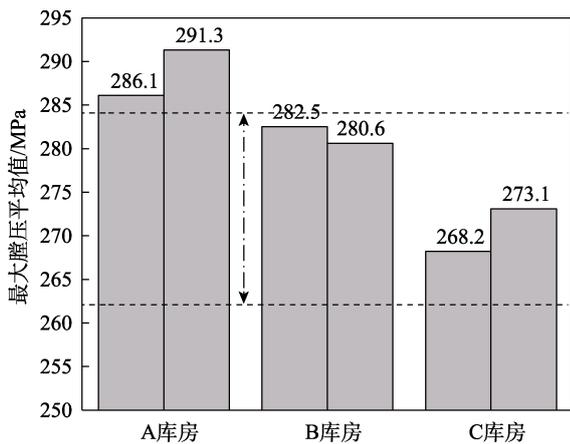


图 2 3 个库房贮存枪弹最大膛压平均值对比
Fig.2 Comparison of average maximum chamber pressure of bullets stored in three locations

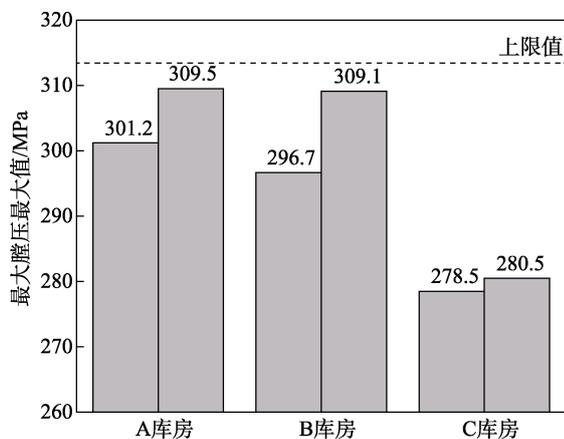


图 3 3 个库房贮存枪弹最大膛压最大值对比
Fig.3 Comparison of maximum chamber pressure for bullets stored in three locations

化甘油、硝化三乙二醇、邻苯二甲酸二丁酯钝感剂以及其他硝酸酯塑化而制成。相关试验已表明^[4-6], 钝感双基药在贮存期内功能失效主要表现为膛压升幅较大, 而导致膛压升高的主要因素是发射药表面钝感剂迁移, 钝感双基药在贮存期内受环境温度的影响较大, 枪弹如果长期贮存在温度高于 30 °C 的环境时, 会加快钝感剂的迁移速率, 发射药表面燃速增加、膛压升高, 最终导致导致发射药功能失效。相关试验和理论研究已证明^[7-9], 钝感剂迁移程度与时间成正比, 迁移速度与温度成正比, 温度升高, 分子热运动速度加快, 会加快钝感剂迁移。钝感剂分布情况直接影响发射药的点火性能、燃烧性能、温度系数等关键指标。当钝感剂前移到一定程度后, 发射药燃速增加, 最终反映膛压升高。相关测试试验发现^[10-12], 双基发射药在 20 °C 贮存 10 a 后, 剩余能量普遍降低了 0.14%~0.55%; 在 30 °C 贮存 10 a 后, 降低了 0.6%~2.5%。

8) 射击密集度。A 库房贮存枪弹射击密集度平均值 $\bar{R50}$ 为 6.2 cm, 而 B、C 库房贮存枪弹的密集度平均值分别为 5.8、5.5 cm。射击密集度由高到低排序为寒冷气候环境库房枪弹、暖湿酸雨气候环境库房枪弹、湿热海洋气候环境库房枪弹。枪弹密集度表征的是一组枪弹着靶的密集程度, 密集度受弹头自身的稳定特性(弹形、重心位置等)和出枪口时的初始状态等因素的影响。枪弹发射时, 弹头在高压火药气体推动下挤进膛线, 由于弹头直径大于枪管线膛阳线直径, 弹头在挤进膛线时会受到膛线的阻力而产生一定的形变, 从而改变了弹形、几何规整度和对称性等飞行稳定特性^[13]。弹头形变的程度, 与推动弹头的挤进压力呈正相关性, 挤进压力越大, 弹头变形越严重。弹头挤进压力来自于火药燃烧产生的膛内压力(即膛压), 膛压越高, 挤进压力越大。枪弹膛压在指标范围内时, 火药气体推动弹头产生的形变相对较小, 对弹头飞行稳定性因素的影响也较小, 密集度影响不明显。当膛压升高, 尤其是升高到某个程度后, 变形会显著增加, 从而影响弹头飞行稳定性, 使密集度变差。结合相关文献资料^[14-15], 发现密集度高低与贮存环境温度、膛压大小呈现一定规律, 具体为贮存库房环境温度越高, 膛压值越大, 射击密集度越低。

3 结论

1) 某枪弹在完好的包装状态下, 在湿热海洋气候环境、暖湿酸雨气候环境、寒冷气候环境 3 种典型大气环境库房贮存 13 a 后, 枪弹长度、体高、全形、质量、底火、密封性、底火撞击感度均满足验收规范的规定, 不会发生明显变化, 贮存环境对其影响不大, 而弹头颜色会受贮存环境温度影响, 温度越高, 颜色越深。

2) 枪弹长贮 13 a 后, 内外包装均完好, 对枪弹能够持续有效防护, 库房环境湿度较难进入枪弹内包装, 其库房环境湿度对枪弹影响很微弱。

3) 贮存环境温度对枪弹拔弹力、最大膛压大小、射击密集度有重要影响。具体为, 对于在库房长期贮存的枪弹, 贮存环境温度越高, 拔弹力越大, 最大膛压值越大, 射击密集度越低。3 种典型大气环境下, 对枪弹拔弹力、最大膛压、射击密集度影响由高到低分别是湿热海洋气候环境、暖湿酸雨气候环境、寒冷气候环境。

参考文献:

- [1] 王鹏, 刘东锋. 5.8 毫米枪弹之多少[J]. 兵器知识, 2016(5): 20-23.
WANG P, LIU D F. 5.8 mm Cartridge Information [J]. Weapons Knowledge, 2016, (5): 20-23.
- [2] 刘静, 黄波, 王晓辉, 等. 枪械贮存环境特征与环境影响分析[J]. 装备环境工程, 2019, 16(8): 76-79.
LIU J, HUANG B, WANG X H, et al. Storage Environment Characteristics and Environment Influence of the Firearms[J]. Equipment Environmental Engineering, 2019, 16(8): 76-79.
- [3] 钱俊松, 刘彬, 韩银泉. 基于弹性力学的枪弹拔弹力的理论计算[J]. 兵工自动化, 2016, 35(2): 72-74.
QIAN J S, LIU B, HAN Y Q. Theoretical Calculation of Extracting Bullet Force Based on Elasticity[J]. Ordnance Industry Automation, 2016, 35(2): 72-74.
- [4] 肖倩. 高能高强度发射药长贮稳定性研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2010.
XIAO Q. Study on Long-Term Storage Stability of High-Energy and High-Strength Propellant[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2010.
- [5] 张勇. 钝感剂在贮存过程中的扩散行为及其对球扁药性能的影响[D]. 南京: 南京理工大学, 2020.
ZHANG Y. Diffusion Behavior of Desensitizer during Storage and Its Influence on the Properties of Spherical Flat Powder[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2020.
- [6] 宋亚苹. 表面钝感剂在高能发射药中的浓度分布及稳定性研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2020.
SONG Y P. Study on Concentration Distribution and Stability of Surface Desensitizer in High Energy Propellant[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2020.
- [7] 赵其林, 周宏伟, 陈春林, 等. 轻武器用钝感发射药功能失效阈值预估方法[J]. 火炸药学报, 2021, 44(1): 101-105.
ZHAO Q L, ZHOU H W, CHEN C L, et al. Prediction Methodology of Function Failure Threshold Value of Deterred Gun Propellant for Firearms[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2021, 44(1): 101-105.
- [8] 潘清, 王琼林, 苏鹏飞, 等. 改性单基发射药中聚酯钝感剂的扩散研究[J]. 火炸药学报, 2013, 36(2): 65-68.
PAN Q, WANG Q L, SU P F, et al. Study on Diffusion of Polyester Deterrent in Modified Single-Base Propellant[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2013, 36(2): 65-68.
- [9] 刘少武, 刘波, 郑双, 等. 高分子钝感剂在两种发射药中的迁移性能[J]. 含能材料, 2010, 18(6): 635-638.
LIU S W, LIU B, ZHENG S, et al. Migration of Polymer Deterrent in Two Kinds of Propellants[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2010, 18(6): 635-638.
- [10] 魏婧姝. 小分子钝感剂在单基药中扩散行为研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2012.
WEI J S. Study on Diffusion Behavior of Small Molecule Desensitizer in Single-Base Drug[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2012.
- [11] 潘清, 朱一举, 王明, 等. 某双基球扁药中 DBP 钝感剂的分布及扩散[J]. 火炸药学报, 2021, 44(4): 549-554.
PAN Q, ZHU Y J, WANG M, et al. Distribution and Diffusion of DBP Deterrent in a Double Base Oblate Spherical Propellant[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2021, 44(4): 549-554.
- [12] 杨俊红, 沈永辉, 杨文靖, 等. 影响膛压的因素有哪些?[J]. 轻兵器, 2024(1): 74-79.
YANG J H, SHEN Y H, YANG W J, et al. What Are the Factors that Affect the Bore Pressure? [J]. Small Arms, 2024(1): 74-79.
- [13] 许辉, 黄陈磊, 王希阔, 等. 枪弹动态挤进阻力理论与实验研究[J]. 兵工学报, 2022, 43(9): 2263-2273.
XU H, HUANG C L, WANG X K, et al. Theoretical and Experimental Study of Projectile Dynamic Engraving Resistance[J]. Acta Armamentarii, 2022, 43(9): 2263-2273.
- [14] 赵磊, 王惠源, 程斌, 等. 连射身管温度场及弹丸扰动分析[J]. 兵器装备工程学报, 2022, 43(2): 85-91.
ZHAO L, WANG H Y, CHENG B, et al. Temperature Field and Bullet Coupling Analysis of Continuous Shot Barrel[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2022, 43(2): 85-91.
- [15] 郑文芳, 郭长平, 蔺向阳, 等. DBP 对发射药燃烧可燃气体产物影响的理论研究[J]. 火炸药学报, 2011, 34(4): 78-82.
ZHENG W F, GUO C P, LIN X Y, et al. Theoretical Study on the Effect of Dibutyl Phthalate on the Generation of Combustible Gas in the Combustion of Propellant[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2011, 34(4): 78-82.