

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2018.02.010

某型枪射催泪弹的可靠性研究*

崔晓萍^① 马永忠^① 杨 建^②

①武警工程大学装备工程学院(陕西西安,710086)

②武警工程大学研究生处(陕西西安,710086)

[摘 要] 为了对某型枪射催泪弹的可靠性进行研究,首先对其发射药的组分含量进行分析;然后对主装药各组
分含量、在体系中的分散情况及安定性能进行了深入探讨;最后分别对主装药与铝和钢之间的相容性进行了测试。
结果表明:发射药及主装药经 5 a 储存后,各组分含量的变化均在标准允许范围之内;主装药的 SEM 图表明,各组
分经长期储存后依然分散均匀,没有出现明显的质变现象;不同升温速率下的 DSC 曲线中,主装药储存前、后的熔
点和分解温度位移幅度小于 2 ℃,安定性较好;主装药与铝和钢的 DSC 曲线上放热峰的微量变化也表明各自之间
具有理想的相容性。以上研究表明:该型枪射催泪弹在使用年限内具有极高的安全性和可靠性。

[关键词] 枪射催泪弹;发射药;主装药;安定性;相容性

[分类号] TJ53

Study on the Reliability of a Gun Firing Tear Gas Grenade

CUI Xiaoping^①, MA Yongzhong^①, YANG Jian^②

① Equipment and Engineering College, Engineering University of PAP (Shaanxi Xi'an, 710086)

② Graduate department, Engineering University of PAP (Shaanxi Xi'an, 710086)

[ABSTRACT] In order to study the reliability of a gun firing tear gas grenade, composition content of the propellant was
firstly analyzed. Then composition content and stability of the main charge and dispersion of each component in the system
were discussed. Finally, the compatibilities of the main charge/Al and the main charge/steel were tested, respectively.
The results show that content variations of each component in propellant and main charge are maintained within the allowa-
ble range of the standard after storage of 5 years. SEM of the main charge shows that the components are still distributed
uniformly after long term storage, and there is no obvious qualitative change. At different heating rates, DSC results show
that stability of the main charge is superior in that the displacements of the melting and decomposition temperature between
unstored and stored main charge are less than 2 ℃. Based on DSC curves of the main charge/Al and the main charge/
steel, changes of the exothermic peaks are very small, so the compatibility is very ideal for the main charge/Al or the main
charge/steel. Results above indicate that the tested gun firing tear gas grenade presents extremely high reliability and safety
during lifetime.

[KEYWORDS] gun firing tear gas grenade; propellant; main charge; stability; compatibility

引言

防暴弹药是武警部队处突维稳、反恐作战中的
必备装备,对维护社会治安及保护群众的生命财产
发挥了不可替代的作用^[1-3]。某型枪射催泪弹刺激
效果显著、迅速,并且发射准确率高,因而在执行任
务中是诸多防暴弹中出勤率最高的弹种。对于防暴

弹药来讲,从生产、储存到使用、退役、报废和销毁的
全寿命过程中,储存是时间最长的一个环节,一般该
类弹药的储存期为 5 a,为了考察弹药在保质期内使
用时的安全性,对储存弹药的可靠性进行评价至关
重要。

近年来,随着计算技术的发展,诸多学者^[2-8]采
用数学建模的方法对弹药的可靠性进行评价,虽说
所得参数能够对相应工作提供一定的指导,但该类

* 收稿日期:2017-09-20

基金项目:武警部队基础理论研究基金(WK2016-L7);武警部队军事应用研究基金(WK2015-J12);武警工程大学基础研究基金(WJY201508)

作者简介:崔晓萍(1975-),女,博士,教授,主要从事非致命武器及高性能材料方面的研究。E-mail:wjcxp@126.com

方法理论性太强,与实际情况之间存在较大误差。

为了完善评估理论,提高评价的准确性、科学性和可操作性,本文中,以储存时间满5 a的弹药为样本,在分析其发射药组分含量变化的基础上,对催泪主装药的组分含量、各组分的分散情况、安定性以及药剂与接触包装材料之间的相容性进行测试和深入研究,为弹药的可靠安全使用提供理论依据和技术支撑。

1 试验部分

1.1 主要试验仪器和原材料

试验仪器:电子天平, JM-B2003, 慈溪红钻衡器设备有限公司;精密增力电动搅拌器, JJ-1, 上海浦东物理光学仪器厂;扫描电子显微镜, Evo-50, 德国 Carl Zeiss 公司生产;差示扫描量热仪, DSC204F1, 美国耐驰公司生产;气相色谱仪, GC6891N, 北京恒通瑞利仪器有限公司。

主要试验材料:某型枪射催泪弹, 武警工程大学装备器材研制中心提供;丙酮, 分析纯, 西安化学试剂厂;去离子水, 实验室自制, 沸煮 20 min 后静置备用;碘标准滴定溶液, 0.1 mol/L, 深圳市福海化玻仪器有限公司;酚酞指示剂, 广州万从化工有限公司;无水亚硫酸钠, 分析纯, 上海国药集团化学试剂有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 发射药(黑火药)组分含量测试^[9-11]

水分含量测定:质量为 m_1 的试样在 $(100 \pm 2)^\circ\text{C}$ 下烘干 30 min, 而后自然降至室温后称量得 m_2 。水分质量分数 $w_1 = (m_1 - m_2) / m_1 \times 100\%$ 。

硝酸钾含量测定:用一定量的去离子水溶解质量为 m_3 的干燥试样并静置 10 min;通过抽滤的方式进行分离;而后将滤纸上的残留物在 $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ 下烘干 2 h, 自然降至室温时称量得 m_4 。硝酸钾质量分数 $w_2 = (m_3 - m_4) / m_3 \times 100\%$ 。

硫磺含量的测定:黑火药中的硫磺与亚硫酸钠作用生成硫代硫酸钠, 以碘标准滴定溶液滴定, 由其消耗量换算出黑火药中硫磺的质量分数 w_3 , 具体操作参照 GJB1047—2004^[9]。

反应方程式如式(1)、式(2):
$$\text{S} + \text{Na}_2\text{SO}_3 = \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3, \tag{1}$$
$$2\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{I}_2 = \text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6 + 2\text{NaI}。 \tag{2}$$
木炭质量分数 $w_4 = 1 - w_2 - w_3$ 。

1.2.2 主装药组分含量测试

某型枪射催泪弹的主装药主要由氧化剂、可燃

剂、催泪剂和黏合剂等组成。通过理化分析,各自含量采用溶剂分离和气相色谱相结合的方法进行。

1.2.3 主装药组分分布

为了观察主装药各组分在体系中的分散情况,采用 Carl Zeiss 公司的 Evo-50 型扫描电镜(SEM)对试样的表面形貌进行表征。

1.2.4 主装药安定性和相容性测试

采用德国耐驰公司生产的 DSC204F1 测试仪在室温至 590°C 的温度范围内,对试样的安定性以及主装药与包装材料间的相容性分别进行测试,全程在氮气保护下进行,具体操作参照 GJB5891. 17—2006^[12]实施。

2 结果与讨论

2.1 发射药(黑火药)组分变化

黑火药作为某型枪射催泪弹的发射药,经过长期储存后,各组分的含量变化对其性能有较大影响,在一定程度上直接决定着弹药的发射性能,如出现燃速下降、迟弹或近弹等现象。

某型枪射催泪弹经 5 a 储存后的发射药各组分含量与原始试样含量测试结果如表 1 所示。经过比较能够发现:体系中的各组分最终含量(质量分数)虽有变化,但浮动幅度极为微小,均分布在 0.4% ~ 0.9% 这一范围,这是各组分分子在较长时间内扩散保持动态平衡的结果,符合标准要求。测试结果表明,该防暴弹药结构设计合理,经过常规储存能够满足作战需求。

表 1 黑火药各组分的质量分数

Tab. 1 Composition mass fraction of black powder

组分	标准要求	储存时间		结果判定
		0	5 a	
水	≤ 1.0	0.68	0.66	合格
硝酸钾	75.0 ± 1.0	75.10	74.60	合格
硫磺	10.0 ± 1.0	10.20	9.80	合格
木炭	15.0 ± 1.0	14.70	15.60	合格

2.2 主装药组分变化

主装药是防暴弹药的重要组成部分,决定着防暴弹药能够达到的作战效果和作战目的。因此,其组分含量的变化是考察弹药作战可靠性的关键指标之一。某型枪射催泪弹的主装药组分原始配方及经储存后的组分含量见表 2。

由所测数据可知,作为基本组分的氧化剂和可

表 2 主装药剂组分的质量分数

Tab.2 Composition mass fraction of the main charge

项目	标准要求	储存时间		结果判定
		0	5 a	
氧化剂	30.0 ± 1.0	30.3	30.6	合格
可燃剂	28.0 ± 1.0	28.6	27.9	合格
催泪剂	20.0 ± 1.0	20.4	20.7	合格
消焰剂	13.0 ± 1.0	12.3	12.7	合格
黏结剂	9.0 ± 1.0	8.4	8.1	合格

燃剂,经 5 a 储存后,其质量分数分别为 30.6 % 和 27.9 % ;具有主要战斗作用的催泪剂的质量分数为 20.7 % ;另外,功能添加剂与黏结剂的质量分数分别为 12.7 % 和 8.1 % 。以上数据较原始配方略有偏差,变化幅度最大为 0.7 % ,但从整体含量分布分析,误差均在标准要求之内。这说明主装药具有极好的稳定性,是使用过程中发挥正常战术作用的前提和基础。

2.3 主装药组分安定性测试分析

安定性是烟火药抵抗缓慢分解能力的一个量度,也是反映烟火药在储存中分解难易程度的指标之一。在还没有达到引起烟火药燃烧、爆炸的必备条件以前,事实上药剂已有缓慢的分解和相互反应,只是由于这些分解或化学反应速度很慢,因而在一般温度、湿度条件下,用肉眼暂时观察不到。但在较长时间的储存中,这种缓慢反应的效果就会积累起来,从而影响产品质量,例如影响点火的安全性、可靠性以及最终的烟火效果,甚至还会产生自燃自爆等现象,造成生命财产的损失;因此,烟火药的安定性问题的在防暴弹药全寿命过程中非常重要。

试验在氮气保护下进行,于 10 ℃/min 的升温速率下,对标准试样和经过储存 5 a 的主装药安定性能进行测试,具体 DSC 曲线如图 1 所示。

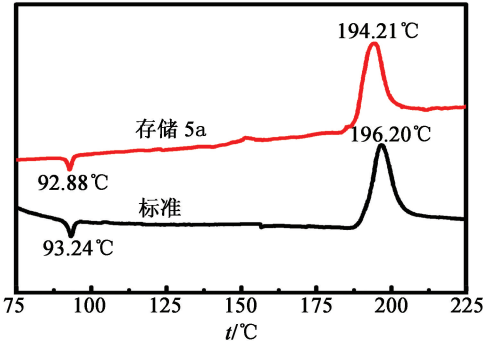


图 1 储存 5 a 主装药与标准试样的 DSC 曲线

Fig.1 DSC curves of five-year stored main charge and the standard sample

从图 1 可以非常清晰地看出,标准试样的 DSC 曲线在 93.24 ℃ 和 196.20 ℃ 附近分别出现明显的熔融吸收峰和分解放热峰;而经过 5 a 储存后的主装药的熔融吸收峰和分解放热峰都较标准试样略有移动,分别出现在 92.88 ℃ 和 194.21 ℃ 附近。将两组峰值进行比较可得,峰值对应的温度分别相差 0.36 ℃ 和 1.99 ℃ ,二者均小于 2 ℃ ,这说明主装药的原始组分配方设计科学,在 5 a 的储存过程中具有较好的安定性能。

2.4 主装药各组分 SEM 分析

原始主装药及储存 5 a 后各组分在体系中的分散情况如图 2 所示。

图 2 分别为防暴弹药原主装药和储存 5 a 后在放大 200 倍和 500 倍时的微观分散照片。将图片比较发现,储存后主装药剂各组分分散状况较好,整个体系均匀一致,既没有出现明显的凝聚,也未呈现出显著的皸裂现象。这可以间接说明主装药剂各组分之间具有较理想的相容性,是防暴弹药在储存期内能够安全使用的保障。

2.5 相容性测试分析

相容性又称反应性,是指两种及以上的物质相互接触组成混合体后,反应能力与单一体系相比的变化程度;若反应能力没改变或改变很少,则混合体系相容;若反应能力明显增加则不相容,在一定条件下会引发体系性能的根本变化,例如发烟剂的产气量和可燃性变化等。因而,相容性是用来评价烟火药剂长期储存安全性与使用可靠性的一项极为重要的性能指标^[13]。

考察的防暴弹药所用材质中,铝和钢的活泼性最大,在外界环境条件的变化下最容易发生质量变化,对主装药的性能影响也最大。

因此,采用 DSC 法分别对主装药与所接触的铝和钢之间的相容性进行测试和研究分析。

2.5.1 升温速率对主装药剂 DSC 峰值温度的影响

储存 5 a 的某型枪射催泪弹主装药剂在不同升温速率情况下的 DSC 情况如图 3 所示。

由图 3 可以看出,曲线在 100 ℃ 和 200 ℃ 附近有明显的熔融吸热峰和分解放热峰(详见表 3),且两组峰值出现的温度呈现规律性变化,即随测试时升温速率的增加而升高。这可能是由于组成该测试主装药的固体试剂属于晶体,而晶格是组成晶体的基本单元,在正常的室温下晶格仅发生轻微的振动,受热后晶格的振幅会加大并发生松弛,随着温度的进一步升高,晶格振动的幅度将会进一步增大,甚至会失去晶格相互之间的束缚能力(保持固体的能

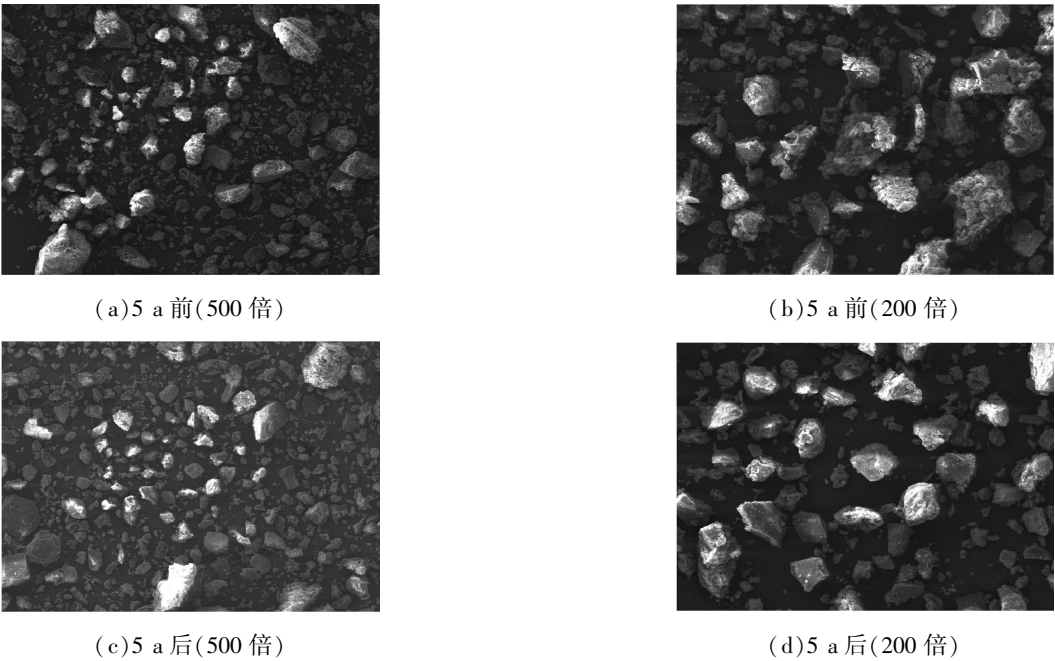


图 2 主装药储存前后各组分的 SEM 图

Fig. 2 SEM images of unstored and stored main charge

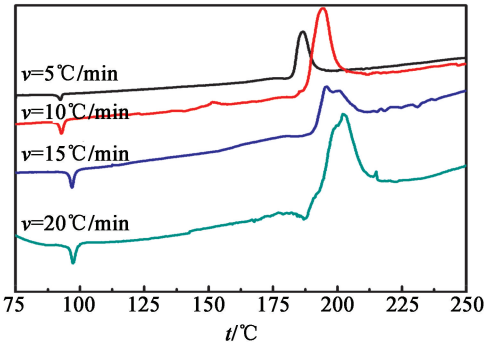


图 3 升温速率对主装药放热峰温度的影响

Fig. 3 Effect of heating rate on exothermic peak of the main charge

表 3 主装药在不同升温速率下的放热峰温度
Tab. 3 Peak temperatures of the main charge at different heating rates

升温速率/ ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$)	吸热峰温度/ $^{\circ}\text{C}$	放热峰温度/ $^{\circ}\text{C}$
5	92.02	186.62
10	92.88	194.21
15	96.95	197.65
20	97.32	202.46

力)发生熔融。研究表明,晶格在受热后发生松弛时会有滞后效应,若升温速率较低时,晶格发生松弛时所吸收的能量能够跟得上温度的变化;当温度升高的速率加快后,提供给晶格发生松弛的时间就不

充裕,晶格就没有足够的时间来吸收温度升高所提供的能量;因而,升温速率越快,晶格吸收能量的时间间隔就越短,晶格在某一温度下应该达到的松弛程度就越低,故晶体吸热熔融时应该达到的松弛程度就会需要更高的温度。因此,DSC 曲线中吸收峰出现的温度随升温速率的加快而升高。相应地,晶体的分解温度随着升温速率的提高同样存在滞后现象,同样随升温速率单调递增^[13-16]。

2.5.2 主装药剂与铝混合后的 DSC 测试

图 4 是某型枪射催泪弹主装药与铝混和后,在各个升温速率下的 DSC 曲线。从该组曲线依然可以清楚看出,混和后试样的放热峰温度仍然随升温速率的加快而单调递增。这说明金属铝的加入对原主装药剂晶体结构在升温时发生松弛熔融直至分解的机理没有显著的影响。

但是,金属铝与主装药混合后在不同升温速率下的放热峰温度较混合前有所升高,如表 4 所示。其中,以 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温速率升温时,混合样放热峰温度变化幅度最大,为 1.97°C (详见表 4),依据 GJB5891.17—2006 有关相容性的判定标准,由于试样混合前、后在不同升温速率升温时放热峰温度的最大变化幅度小于 2°C ,故判定储存 5 a 后某型枪射催泪弹主装药与金属铝之间具有较好的相容性^[12,15]。

2.5.3 主装药剂与钢混合后的 DSC 测试

本试验中考察的某型枪射催泪弹弹壳材质采用

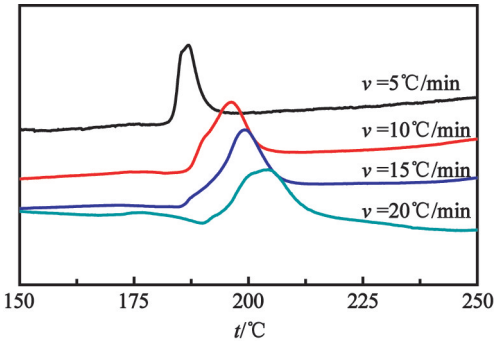


图 4 主装药/铝的 DSC 曲线

Fig.4 DSC curves of the main charge/Al

表 4 主装药/铝混合前后在不同升温速率下的放热峰温度

Tab.4 Exothermic peak temperature of the main charge and Al before or after their mixture at different heating rates

升温速率/ ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$)	峰温/ $^{\circ}\text{C}$		温度变化/ $^{\circ}\text{C}$
	纯主装药剂	铝 + 主装药剂	
5	186.62	186.97	0.35
10	194.21	196.18	1.97
15	197.65	199.27	1.62
20	202.46	204.15	1.69

的是钢,其主装药剂与钢进行混和后在各个升温速率下的 DSC 曲线如图 5 所示。

从图 5 曲线可以看出,主装药体系与钢混和后,试样在受热过程中有明显的放热峰出现,并且放热峰对应的温度随升温速率的增加而增加,该现象与纯主装药剂放热峰温度在不同升温速率时的变化趋势一致。这同样表明原主装药剂的晶体结构未因钢的加入而受到显著影响。

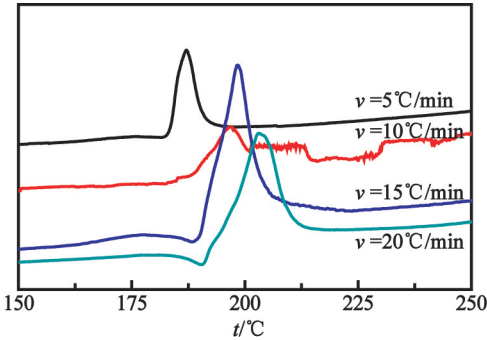


图 5 主装药/钢的 DSC 曲线

Fig.5 DSC curves of the main charges/steel

从表 5 中的结果能够清楚看出,虽然放热峰的温度随升温速率变化的情况跟主装药相同,但是在各个升温速率下混合样放热峰温度较混合前单独体

系都略有移动。当测试时的升温速率为 $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 时,混合样放热峰温度变化最明显,后移了 $1.85\text{ }^{\circ}\text{C}$,但小于 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。依据 GJB5891.17—2006 有关相容性的判定标准判定,储存 5 a 后某型枪射催泪弹主装药与钢之间的相容性较好^[12,16]。

表 5 主装药/钢混合前后在不同升温速率下的放热峰温度

Tab.5 Exothermic peak temperature of the main charge and steel before or after their mixture at different heating rates

升温速率/ ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$)	峰温/ $^{\circ}\text{C}$		温度变化/ $^{\circ}\text{C}$
	纯主装药剂	钢 + 主装药剂	
5	186.62	187.05	0.43
10	194.21	196.06	1.85
15	197.65	198.36	0.71
20	202.46	203.11	0.65

3 结 论

以储存满 5 a 的某型枪射催泪弹为样本,对其在使用期内的可靠性和安全性进行研究,所得结论如下:

1)由发射药样本组分含量测试结果得知:硝酸钾、硫磺、木炭及水分的质量分数虽有浮动,但变化幅度极小,处于标准允许范围。

2)主装药组分的质量分数测试及 SEM 图片研究表明:主装药经过 5 a 储存后,各组分含量变化在要求范围之内,且在体系中分散均匀、没有明显的聚集和破裂现象,这与安定性测试结果一致。

3)主装药分别与铝和钢混合后的 DSC 曲线跟标准试样比较得:两组曲线放热峰温度随测试升温速率变化的趋势相同,这主要是由于滞后效应所致;放热峰温度变化幅度均小于 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$,最大分别为 $1.97\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $1.85\text{ }^{\circ}\text{C}$,故主装药与所接触的包装材料之间具有较好的相容性。

综上所述,某型枪射催泪弹在使用年限内具有极好的安全可靠性能,能够确保作战时应有战术效能的发挥。

参 考 文 献

[1] 蒋大勇,白云. 某型强光爆震弹的处废方式研究[J]. 爆破器材,2016,45(6):26-31.
JIANG D Y, BAI Y. Study on destruction methods for abandoned flashbang ammunition [J]. Explosive Materials,2016,45(6):26-31.

[2] 王志刚,郭三学. 催泪弹非致命效能分析计算[J]. 兵工学报,2017,38(1):59-63.
WANG Z G, GUO S X. Analysis and calculation of non-lethal efficiency of tear bomb[J]. Acta Armamentarii, 2017,38(1):59-63.

[3] 郭三学,方宗德,范扬州. 爆炸式催泪弹安全性研究[J]. 西安工业大学学报,2007,27(6):536-541.
GUO S X, FANG Z D, FAN Y Z. Study on the security of the explosive type tear gas grenade[J]. Journal of Xi'an Technological University, 2007,27(6):536-541.

[4] 董三强,冯顺山,金俊. 弹药安全性能评价模型研究[J]. 兵工学报,2011,32(4):421-425.
DONG S Q, FENG S S, JIN J. Researches on safety assessment model of ammunitions[J]. Acta Armamentarii, 2011,32(4):421-425.

[5] 鲁飞,安振涛. 基于数学方法对某远程火箭弹储存可靠性评定方法研究[J]. 科学技术与工程,2007,7(1):96-98.
LU F, AN Z T. Research on the store reliability evaluation of a certain long-range rocket based on mathematical method[J]. Science Technology and Engineering, 2007,7(1):96-98.

[6] 徐廷学. 基于定期检测的导弹贮存可靠性研究[J]. 弹箭与制导学报,2008,28(1):248-250.
XU T X. Study on storage reliability based on periodical test for missiles[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2008,28(1):248-250.

[7] 郑波,张国安,李明. 自然贮存环境下弹药系统贮存可靠性评估[J]. 质量与可靠性,2003(3):22-25.

[8] 徐松林,阳世清,李玉龙. 弹药与爆炸品的安全标准体系[J]. 安全与环境工程,2012,19(5):85-89.
XU S L, YANG S Q, LI Y L. Safety standard system of ammunitions and explosives[J]. Safety and Environmental Engineering, 2012,19(5):85-89.

[9] 国防科学技术工业委员会. 黑火药试验方法: GJB1047—2004 [S]. 北京:国防科工委军标出版发行部,2004.

[10] 卢樱,孙霖,陈静,等. 黑火药组分测定新方法[J]. 火工品,2013(4):53-56.
LU Y, SUN L, CHEN J, et al. A new determination method of the black powder component[J]. Initiators & Pyrotechnics, 2013(4):53-56.

[11] 任慧,崔庆忠,焦清介. 黑火药的热分解过程与反应动力学参数研究[J]. 含能材料,2007,15(1):29-32.
REN H, CUI Q Z, JIAO Q J. Thermal decomposition and kinetic parameters of black powder reaction[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2007,15(1):29-32.

[12] 国防科学技术工业委员会. 火工品药剂试验方法:第 17 部分 相容性试验差热分析和差示扫描量热法: GJB5891. 17—2006 [S]. 北京:中国标准出版社,2006.

[13] 潘功配,杨硕. 烟火学[M]. 北京:北京理工大学出版社,1997.

[14] 高玉龙,易建政,王海丹. 弹药储存环境对弹药质量的影响[J]. 装备环境工程,2010,7(5):77-78,106.
GAO Y L, YI J Z, WANG H D. Influence of storage environment on ammunition quality[J]. Equipment Environmental Engineering, 2010,7(5):77-78,106.

[15] 李静,姚朴,侯毓悌,等. 火工品药剂相容性问题的探讨[J]. 火工品,2001(2):45-48.
LI J, YAO P, HOU Y D, et al. Discussion of compatibility on loading materials for initiating explosive device[J]. Initiators & Pyrotechnics, 2001(2):45-48.

[16] 夏峰,王新宇,丁良贵. 浅议火工品药剂相容性分析方法[J]. 国防技术基础,2008(3):25-28.