

火炸药装药实验室寿命评估标准体系研究

张林军, 徐露萍, 杜姣姣, 刘文亮, 王芳芳, 王宏霞

(西安近代化学研究所, 西安 710065)

摘要: 为解决我国火炸药装药寿命评估标准工作滞后、体系缺失等问题, 规范和指导火炸药装药寿命评估工作, 提升寿命评估结果的准确性和认可度, 从火炸药装药实验室寿命评估技术体系出发, 探讨了火炸药装药寿命评估的流程及技术要求。参照北约弹药装药安全性及寿命评估的相关标准情报资料, 构建了我国火炸药装药实验室寿命评估标准体系框架, 明确了标准体系建设内容。提出我国火炸药装药实验室寿命评估标准体系按照系统科学、层次分明、综合开放的思路进行构建, 分为顶层规范类标准、设计类标准、操作类标准3个层次。

关键词: 火炸药装药; 寿命评估; 方法标准; 评估流程; 技术要求; 标准体系

中图分类号: TJ55; O643 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9242(2023)10-0084-06

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2023.10.010

Standard System for Laboratory Life Assessment of Explosives and Propellants Charges

ZHANG Lin-jun, XU Lu-ping, DU Jiao-jiao, LIU Wen-liang, WANG Fang-fang, WANG Hong-xia

(Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Shaanxi Xi'an 710065, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the lagging and system lack of life assessment standards for explosives and propellants charges in China, standardize and guide the life assessment work and improve the accuracy and recognition of life assessment results. The process and technical requirements were discussed from the technical system in laboratory life assessment. Meanwhile, referring to the relevant standard information of NATO about ammunition charges safety and life assessment, the framework of China's standard system for life assessment of explosives and propellants charges was constructed, and the contents of the standard system were clarified. It is put forward that the standard system for life assessment of explosives and propellants charges should be constructed according to the idea of systematic and scientific, clear hierarchy and comprehensive openness, and it should be divided into three levels including top-level specification standard, design standard and operation standard.

KEY WORDS: explosives and propellants charges; life assessment; method standards; assessment process; technical requirement; standard system

火炸药是各类武器系统完成弹丸发射, 实现火箭、导弹运载和各类驱动的动力能源, 是战斗部和各种爆炸装置进行毁伤的威力能源^[1]。高能火炸药及其装药是高新武器弹药技术发展的关键, 组分复杂化、

能量高能化、载荷多元化, 使得高能火炸药装药的贮存性能、安全性能面临新的挑战^[2-3]。在贮存和使用过程中, 各种环境应力作用下, 弹药中火炸药装药自身、各组分之间、组分与接触材料之间, 都将会以某

收稿日期: 2023-07-31; 修订日期: 2023-10-12

Received: 2023-07-31; Revised: 2023-10-12

引文格式: 张林军, 徐露萍, 杜姣姣, 等. 火炸药装药实验室寿命评估标准体系研究[J]. 装备环境工程, 2023, 20(10): 84-89.

ZHANG Lin-jun, XU Lu-ping, DU Jiao-jiao, et al. Standard System for Laboratory Life Assessment of Explosives and Propellants Charges[J]. Equipment Environmental Engineering, 2023, 20(10): 84-89.

种形式发生缓慢的物理、化学变化^[4-9]。这种变化一方面可能导致火炸药储存过程中稳定性变差,丧失作战能力,寿命终止;另一方面,可能引起火炸药在储存过程中感度增高,发生燃烧或爆炸,增加了弹药勤务处理的危险性。因此,研究火炸药及装药长贮老化性能和安全性能,对于保证库存弹药的安全可靠贮存和使用至关重要。如果将未达到实际寿命的装药提前退役,将给国家造成极高的经济损失;而超过实际寿命服役,增大了弹药在贮存和使用中的危险性,甚至造成事故。

国内火炸药装药寿命评估通常采用实验室加速老化试验和自然环境贮存监测 2 种方法^[10-16]。实验室加速老化试验通常是指在不改变产品失效机理的前提下,加大模拟环境应力水平的方法,强化环境影响因子,加速产品失效过程,以期在较短的时间内达到长时间自然贮存的效果。自然环境贮存监测试验是在典型或极端自然环境条件下将试验样品长期贮存,根据相关的评价标准、方法来评估和预测所研究样品的贮存或使用寿命。由于实验室加速寿命试验具有时间短、成本低、提前预知寿命结果等优点,目前已成为人们预测研究火炸药装药寿命的主要方向。我国已开展火炸药装药加速老化寿命研究工作多年,形成了 GJB 770B—2005 方法 506.1、QJ 2328A—2005 等寿命评估标准^[17-19],但是一直存在标准工作滞后、标准体系缺失、寿命评估结果准确性和认可度差等问题,无法规范和指导火炸药装药寿命评估工作的开展。美国等北约国家非常重视弹药老化性能及寿命评估,开展了大量安全性、老化寿命等评估技术研究工作,形成了比较完整的弹药装药安全性及寿命评估方法标准体系^[20]。本文从火炸药装药实验室寿命评估技术需求出发,参照北约弹药装药安全性及寿命评估相关标准情报资料,探讨了火炸药装药实验室寿命评估的流程和技术要求。同时,提出了我国火炸药装药寿命评估标准体系的建设思路和层次,构建了我国火炸药装药实验室寿命评估标准体系框架,明确了体系标准建设内容,对今后我国建立全面完善、与国际接轨的标准体系具有重要的指导意义。

1 实验室寿命评估的流程和技术要求

实验室开展寿命评估的火炸药装药特指一定尺度的火炸药药柱和具有一定约束壳体(包覆层)的火炸药结构件。火炸药装药寿命就是在规定的贮存使用环境中,使装药安全贮存、使用性能变化在设计阈值之内或可承受范围内的期限。实验室寿命评估方法是在高于正常应力水平下,对火炸药装药试样进行加速老化,定期分析测试装药老化失效特征参量值,获取失效特征参量值随应力、时间的变化规律及退化模型,选择合适的临界点和数学评估模型进行回归外推处理,预测正常贮存使用应力水平下火炸药装药试样

的寿命。火炸药装药实验室寿命评估是一个系统工作,包括贮存使用环境条件、装药状态、老化规律、失效模式、评估模型、失效判据、加速方法、检测方法、评价方法、监测方法等多个环节。北约在 AOP-46《弹药寿命评估的科学基础》^[21]中给出了弹药寿命评估的流程,该流程包括评估输入、辨识失效模式、评估方法、试验及状态监测、寿命评估等 5 个阶段,如图 1 所示。

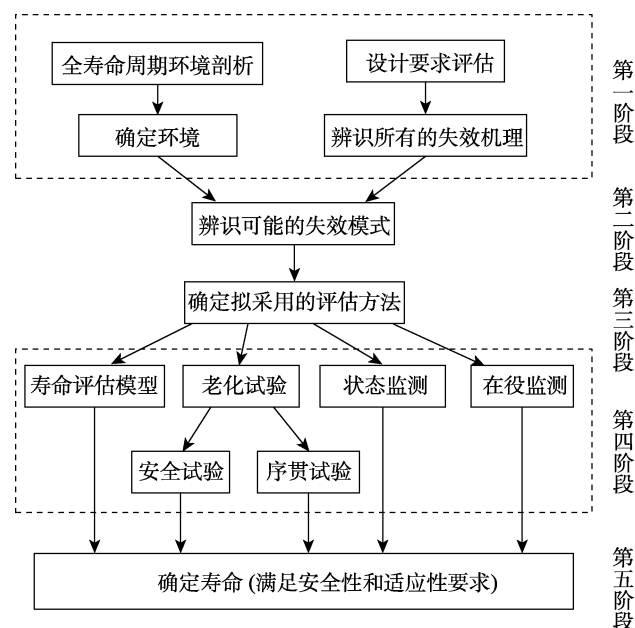


图 1 北约弹药寿命评估流程

Fig.1 Process of NATO ammunition life assessment

在借鉴北约弹药寿命评估程序的基础上,分析火炸药装药实验室寿命评估的环节和要素。寿命评估流程可分为评估设计输入、潜在失效模式确定、加速试验方案设计、加速试验及状态评估、确定关键参量及退化模型、寿命评估等 6 个阶段。各阶段技术要求如下:

1) 寿命评估设计输入。包括全寿命周期环境剖面分析、确定贮存及使用环境、火炸药装药状态分析、确定所有可能的失效机理等环节。主要获取特定应用背景下开展寿命评估工作所需的设计输入详细信息。

2) 确定潜在失效模式。通过贮存使用环境下火炸药装药可能失效机理分析,确定装药潜在的失效模式。通常情况下,火炸药装药的失效模式主要表现为热化学失效、力学失效、结构失效(热应力)、功能失效等四大类。

3) 确定加速老化试验方案。加速老化试验方案设计主要包括加速老化环境应力模拟加载、老化性能参数、试验样品状态和数量、老化试验时间、取样计划等方面的内容。

4) 加速试验及老化状态评估。本阶段为试验阶段,包括加速老化试验、装药性能检测、安全性试验、

老化状态评估等环节。由于火炸药具有易燃易爆特点,安全性能变化必须重点关注。在老化结束时,必须测量火炸药热感度、热安定性、撞击感度、摩擦感度等安全性能,以判断老化是否引起火炸药的敏感化,是否存在安全风险。

5) 确定关键参量及退化模型。包括确定失效关键参量及变化规律和关键参量变化模型等环节。

6) 寿命评估。包括确定失效判据、确定寿命评估模型、确定火炸药装药贮存使用寿命等环节。根据关键参量变化模型,结合给定的失效判据值,获得不同应力水平下的伪失效寿命。利用选用的寿命评估模型^[22-26],结合伪失效寿命值,建立装药寿命评估模型试验方程,回归计算预估正常环境条件下的火炸药装药寿命值。

2 北约弹药及装药安全性与寿命评估标准分析

美国及北约非常重视弹药及装药安全性及长贮老化研究,制定了一系列弹药贮存监测计划,开展了大量装药老化试验及机理研究,掌握了装药绝大多数失效机理和模式,形成了较为全面的标准体系。通过对北约弹药及装药安全性与寿命评估标准化的初步分析发现,在弹药服役全寿命周期中各个环节,针对不同环节可能遇到的环境刺激,及其引发的安全性或弹药失效问题,北约有专门的试验和评价标准作为支撑。北约弹药及装药安全性与寿命评估标准体系涵盖

了弹药及装药设计、生产制造、贮存和运输、销毁处理全寿命周期阶段,每个阶段均有相应的标准方法配套^[27-33],如图2所示。北约弹药及装药安全性及寿命评估标准大致可以分为4个层次(见图3):指南类标准;科学基础、评估程序、老化议定书等共性通用类标准;试验方法、评价方法和性能表征方法等试验操作类标准;典型弹药安全性及寿命评估方法标准。

在火炸药装药实验室寿命评估方面,AOP-46、AOP-7等标准更具有指导和借鉴意义。AOP-46《弹药寿命评估的科学基础》是北约非核弹药寿命评估的基础性标准,给出了弹药全寿命周期内寿命的影响因素、评估的科学基础以及寿命评估的一般方法。标准涵盖了环境对弹药的影响、设计标准确定、产品包装、性能退化机理、评估设计及风险分析、寿命评估程序、加速试验、加速失效模式及数学模型、延寿、寿命终结等各个部分,对弹药产品寿命评估全流程做了详细的规定。AOP-7《军用爆炸物鉴定用数据要求和试验手册 第8章老化议定书》^[27]主要针对军用爆炸物长贮寿命各阶段的研究特点,分别规定了老化试验条件及性能检测项目,并能够结合武器装备的需求变化进行适时修订。

3 我国火炸药装药实验室寿命评估标准体系构建

火炸药装药实验室寿命评估标准体系是制定、修订和贯彻实施火炸药装药寿命评估各类标准的依据,

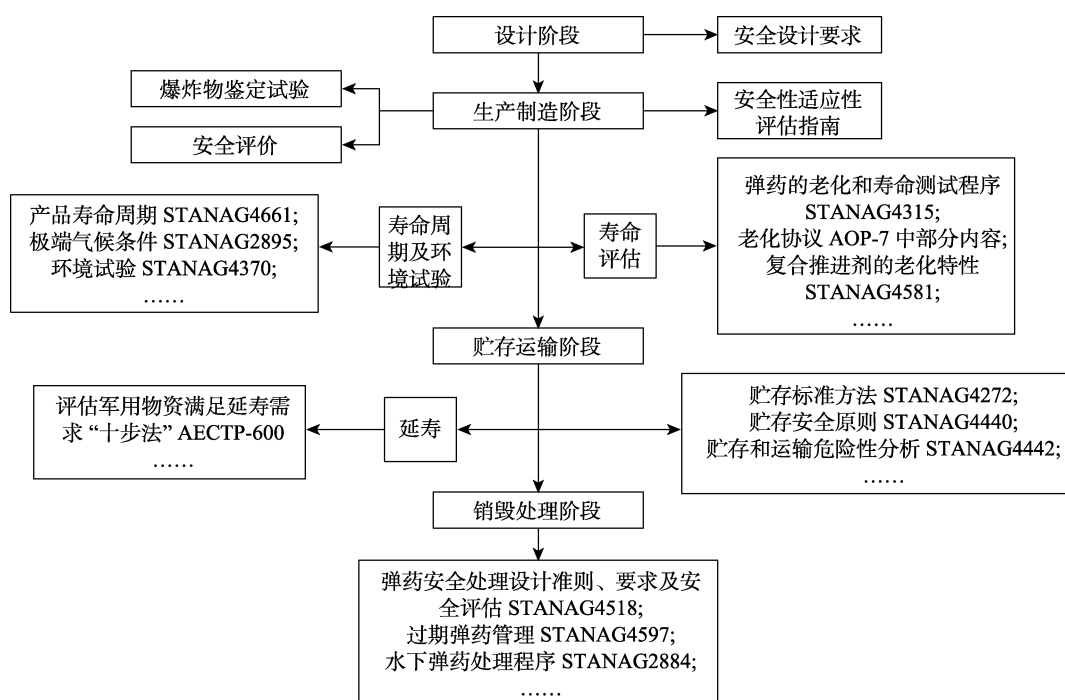


图2 北约弹药及装药全寿命周期安全性与寿命评估标准体系

Fig.2 NATO ammunition and charges life cycle safety and life evaluation standard system

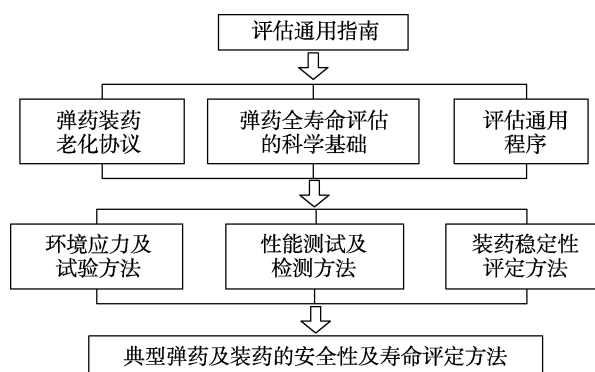


图 3 北约弹药及装药安全性与寿命评估标准体系层次框图

Fig.3 Hierarchical block diagram of NATO ammunition and charges safety and life assessment standard system

对于研制和应用“宽环境、长寿命、高安全”的新型高能火炸药具有巨大的推动作用和保障作用。由于不同的火炸药产品其配方组成、生产工艺、装药结构、应用背景等不同,其加速试验方法及老化性能评估方法可能不同,即使同一种火炸药装药应用在不同的弹种中,其失效模式与机理也是不尽相同的。因此,火炸药装药实验室寿命评估是一个复杂的系统问题,寿命评估涉及样品制备、老化试验、失效机理模式分析、性能检测、数学模型构建等多个环节要素及相应方法标准支撑。通过对比北约弹药及装药安全性与寿命评估标准体系,结合火炸药装药实验室寿命评估流程和技术要求,我国火炸药装药实验室寿命评估体系将按照系统科学、层次分明、综合开放的思路进行构建。

1) 系统科学。从火炸药装药实验室寿命评估的技术体系和流程出发,对寿命评估过程中每个阶段的各环节要素进行系统分析,以提升寿命预估结果的可靠性和准确性为目标,科学制定各环节试验方法标准。重点关注环境应力模拟等效加载、老化试样与真实装药的等效问题、老化性能检测取样的等效问题等关键点。寿命评估各环节方法标准相互联系、衔接、补充,应用时按照实际需要选择裁剪,构成具有特定标准化功能的有机整体。

2) 层次分明。根据国内装药寿命评估环节要素和标准化需求,对标北约武器弹药安全性与寿命评估标准体系,我国火炸药装药实验室寿命评估标准体系建设初步设计为 3 个层次:顶层规范类标准,主要包括火炸药装药实验室寿命评估通用程序及评估指南;设计类标准,主要包括环境应力模拟、火炸药装药状态与分类、失效模式与机理等共用基础类标准;操作类标准,包括试验方法、检测方法及评估方法等。我国火炸药装药实验室寿命评估标准体系层次如图 4 所示。

3) 综合开放。标准体系的建立是一个长期、不断更新完善的过程。火炸药装药实验室寿命评估标准体系建设首先需要搭建一个较为完整的体系框架,框

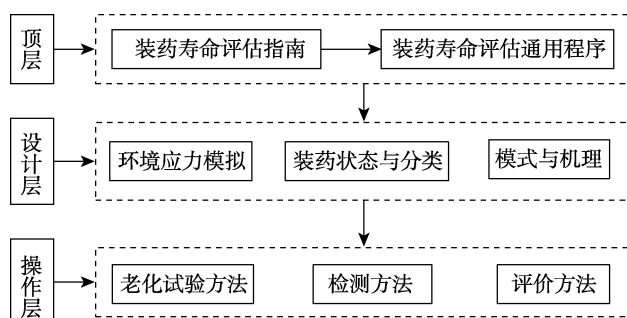


图 4 我国火炸药装药实验室寿命评估标准体系层次

Fig.4 Hierarchical block diagram of explosives and propellants charges laboratory life assessment standard system in China

架中标准构成应当是一个综合、开放、不断发展的标准群,所有与火炸药寿命相关的方法标准都可以按照其特点和功能划分到体系框架不同层次中,并随着新产品和新技术的发展不断丰富和完善。

按照火炸药装药实验室寿命评估标准体系层次划分,我国寿命评估标准体系应包括以下标准,顶层规范类标准主要为火炸药装药寿命评估指南、程序、通用要求、术语定义等;设计类标准主要为寿命评估方法设计、机理机制研究等基础标准,分为环境应力模拟加载方法、老化试样设计及要求、失效模式及模型选用等三大类,包括老化环境谱及载荷谱、热加速老化试验方法、多应力耦合加速试验方法、老化试样设计方法、装药分类方法、试样尺寸等效性评价方法、寿命评估模型、数据处理方法等标准;操作类标准则主要为与产品结合较为密切,需要开展相关试验研究,获取样品老化性能,进行老化状态评价等试验方法标准,分为加速老化试验方法、老化性能检测方法、老化状态评价方法等 3 类,包括不同状态(粉末、药柱、公斤级装药、弹体装药)火炸药加速老化方法、安全性试验、老化性能监测、现场快速检测、老化性能评价等方法标准。上述方法标准构成了我国火炸药装药实验室寿命评估标准体系,开展寿命评估工作时,按照评估流程中阶段技术要求,选择相应的方法标准执行。

4 结语

火炸药装药实验室寿命评估涉及多个技术领域和专业,评估过程所需试验和评价方法较多,需要建立制定各阶段、各环节的方法标准,来规范和指导火炸药装药寿命评估工作。本文从火炸药装药实验室寿命评估技术体系和流程出发,探讨了寿命评估各阶段的技术要求,同时参照北约弹药装药安全性与寿命评估相关标准情报资料,构建了我国火炸药装药实验室寿命评估标准体系框架,明确了标准建设内容。提出我国火炸药装药实验室寿命评估标准体系按照系统

科学、层次分明、综合开放的思路进行构建,可分为顶层规范类标准、设计类标准、操作类标准 3 个层次。同时,标准体系的建设是一个循序渐进的过程,不能一蹴而就,应加强火炸药装药实验室寿命评估关键技术研究,研制新的技术标准,不断地对体系中标准进行增添、修订,推进标准体系的建设。

参考文献:

- [1] 任务正,王泽山,杨红梅,等.火炸药理论与实践[M].北京:中国北方化学工业总公司,2001: 1-5.
REN Wu-zheng, WANG Ze-shan, YANG Hong-mei, et al. Theory and Practice for Gun Powders and Explosives[M]. Beijing: China North Chemical Industries Corporation, 2001: 1-5.
- [2] 庞爱民.固体火箭推进剂理论与工程[M].北京:中国宇航出版社,2014: 495-536.
PANG Ai-min. Theory and Engineering of Solid Rocket Propellant[M]. Beijing: International Cooperation Center of China Aerospace, 2014: 495-536.
- [3] 孙业斌,惠君明,曹欣茂.军用混合炸药[M].北京:兵器工业出版社,1995: 100-101.
SUN Ye-bin, HUI Jun-ming, CAO Xin-mao. Military Mixed Explosive[M]. Beijing: The Publishing House of Ordnance Industry, 1995: 100-101.
- [4] 高大元,申春迎,文尚刚,等.加速老化对炸药件安全性的影响研究[J].含能材料,2011,19(6): 673-678.
GAO Da-yuan, SHEN Chun-ying, WEN Shang-gang, et al. Accelerated Aging on Effect of Safety for Explosive Parts[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2011, 19(6): 673-678.
- [5] MARTIN K, FRANTISEK K. Changes of Chemical, Stability and Sensitivity Properties of Artificially Aged Double-Base and Triple-Base Propellants and Semtex Type Explosives[C]//45th International Annual Conference ICT. Karlsruhe: [s. n.], 2014.
- [6] 张林军,杜姣姣,栾洁玉,等.热老化对RDX基含铝压装炸药装药发射安全性的影响[J].含能材料,2018,26(2): 156-160.
ZHANG Lin-jun, DU Jiao-jiao, LUAN Jie-yu, et al. Effect of Thermal-Aging on Launching Safety of RDX-Based Aluminized and Pressed Explosive Charge[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2018, 26(2): 156-160.
- [7] 张昊,彭松,庞爱民,等.NEPE推进剂力学性能与化学安定性关联老化行为及机理[J].推进技术,2007,28(3): 327-332.
ZHANG Hao, PENG Song, PANG Ai-min, et al. Coupling Aging Behaviors and Mechanism between Mechanical Properties and Chemical Stability of NEPE Propellant[J]. Journal of Propulsion Technology, 2007, 28(3): 327-332.
- [8] LINARIC M R. Changes of Some Thermophysical Properties of Nitrocellulose Propellants during Accelerated Aging[C]//New Trends in Research of Energetic Materials, Proceedings of the Seminar, 8th. Pardubice: [s. n.], 2005.
- [9] 任晓宁,常海,邵颖惠,等.改性B炸药装药的老化行为[J].火炸药学报,2013,36(4): 37-41.
REN Xiao-ning, CHANG Hai, SHAO Ying-hui, et al. Aging Behavior of Modified Composition B Explosive Charge[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2013, 36(4): 37-41.
- [10] MARI-ELLA Sairiala, MRJA-LEENA Karisaari. Ageing Phenomena of Naturally and Artificially Aged PBXs in Finnish Storage Conditions[C]//45th International Annual Conference ICT. Karlsruhe: [s. n.], 2014.
- [11] 丁彪,张旭东,刘著卿,等.HTPB推进剂交变温度加速老化与自然贮存相关性[J].含能材料,2011,19(1): 50-54.
DING Biao, ZHANG Xu-dong, LIU Zhu-qing, et al. Correlation between Alternating Temperature Accelerated Aging and Real World Storage of HTPB Propellant[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2011, 19(1): 50-54.
- [12] 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, 2006, 29(4): 71-76.
- [13] 张兴高,张炜,朱慧,等.固体推进剂贮存老化研究进展[J].含能材料,2008,16(2): 232-237.
ZHANG Xing-gao, ZHANG Wei, ZHU Hui, et al. Review on the Aging of Solid Propellants[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2008, 16(2): 232-237.
- [14] 王宝成,牛国涛,金大勇.国内炸药老化及寿命评估的进展和评述[J].兵工自动化,2015,34(6): 44-47.
WANG Bao-cheng, NIU Guo-tao, JIN Da-yong. Review and Development of Internal Explosive Aging and Life Assessment[J]. Ordnance Industry Automation, 2015, 34(6): 44-47.
- [15] 杨继坤,徐廷学,董琪,等.固体火箭发动机装药贮存寿命预测方法[J].推进技术,2013,34(3): 416-421.
YANG Ji-kun, XU Ting-xue, DONG Qi, et al. Propellant Storage Life Prediction for Solid Rocket Motor[J]. Journal of Propulsion Technology, 2013, 34(3): 416-421.
- [16] 谢镇波,李洪伟,贾明明.基于状态监测和老化试验的火箭发动机寿命评估方法研究[J].装备环境工程,2012,9(4): 15-18.
XIE Zhen-bo, LI Hong-wei, JIA Ming-ming. Study of Life Estimation Method for Solid Rocket Motor Based on State Monitoring and Aging Test[J]. Equipment Environmental Engineering, 2012, 9(4): 15-18.
- [17] GJB 770B—2005,火药试验方法,方法 506.1[S].
GJB 770B—2005, Test Method of Propellant, Method 506.1[S].
- [18] QJ 2328A—2005,复合固体推进剂高温加速老化试验

- 方法[S].
QJ 2328A—2005, Test Method for Temperature Accelerated Aging of Composite Solid Propellant[S].
- [19] Q/AY 856—2019, 火炸药装药安全寿命评估程序[S].
Q/AY 856—2019, Assessment Process of Safety Life Prediction for Explosives and Propellants Charges[S].
- [20] 徐露萍, 张林军, 王琼, 等. 北约弹药服役安全性与环境适应性评估标准研究[R]. 西安: 西安近代化学研究所, 2020.
XU Lu-ping, ZHANG Lin-jun, WANG Qiong, et al. Research on the Safety and Environmental Adaptability Assessment Standards for NATO Ammunition Service[R]. Xi'an: Xi'an Modern Chemistry Research Institute, 2020.
- [21] AOP-46(Edition 1), The Scientific Basis for the Whole Life Assessment of Munitions[S].
- [22] 刘子如, 邵颖惠, 任晓宁, 等. 预估火炸药寿命的数学模型及其计算[J]. 火炸药学报, 2016, 39(2): 1-7.
LIU Zi-ru, SHAO Ying-hui, REN Xiao-ning, et al. Mathematical Models and Its Calculations for Predicting the Life of Explosives and Propellants[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2016, 39(2): 1-7.
- [23] 周堃, 胡滨, 王津梅, 等. 阿伦尼乌斯公式在弹箭贮存寿命评估中的应用[J]. 装备环境工程, 2011, 8(4): 1-4.
ZHOU Kun, HU Bin, WANG Jin-mei, et al. Application of Arrhenius Equation in Storage Life Evaluation of Ammunition[J]. Equipment Environmental Engineering, 2011, 8(4): 1-4.
- [24] SHEKHAR H. Prediction and Comparison of Shelf Life of Solid Rocket Propellants Using Arrhenius and Berthelot Equations[J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 2011, 36(4): 356-359.
- [25] 杜永强, 郑坚, 彭威, 等. HTPB 推进剂贮存老化建模及寿命预估研究综述[J]. 化工进展, 2016, 35(S2): 219-224.
DU Yong-qiang, ZHENG Jian, PENG Wei, et al. Review of the Research of Aging Modeling and Life Prediction for HTPB Propellant[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2016, 35(S2): 219-224.
- [26] 杨根, 赵永俊, 张伟, 等. HTPB 推进剂贮存期预估模型研究[J]. 固体火箭技术, 2006, 29(4): 283-285.
YANG Gen, ZHAO Yong-jun, ZHANG Wei, et al. Investigation on Prediction Model for Storage Life of HTPB Propellants[J]. Journal of Solid Rocket Technology, 2006, 29(4): 283-285.
- [27] AOP-7(Edition 2), Manual of Data Requirements and Tests for the Qualification of Explosive Materials for Military Use Chapter 8 Ageing Protocols[S].
- [28] STANAG4581, Explosives, Assessment of Ageing Characteristics of Composite Propellants Containing an Inert Binder[S].
- [29] STANAG4666, Explosives, Assessment of Ageing of Polymer Bonded Explosives (PBXs) Cast-Cured Composition Using Inert or Energetic Binders[S].
- [30] STANAG4620, Explosives, Nitrocellulose Based Propellants, Stability Test Procedures and Requirements Using Stabilizer Depletion[S].
- [31] STANAG4147, Chemical Compatibility of Ammunition Components with Explosives (Non-Nuclear Applications)[S].
- [32] STANAG4582, Explosive, Nitrocellulose Based Propellants, Stability Test Procedure and Requirements Using Heat Flow Calorimetry[S].
- [33] AOP-15, Guidance on the Assessment of the Safety and Suitability for Service of Non-Nuclear Munitions for Nato Armed Forces[S].

责任编辑: 刘世忠