

不敏感发射药检测与评估技术研究综述

杨丽侠, 张衡, 张玉成, 张邹邹

(西安近代化学研究所, 西安 710065)

摘要: 为了深入研究不敏感发射药, 从全尺寸发射药不敏感性能试验、实验室感度试验及小型模拟试验三个方面, 综述了发射药在各类刺激源下响应特性检测评估技术的研究进展, 重点阐述了具有发射药特点的小型模拟检测手段和方法。如热碎片传导点火试验、小规模慢速烤燃装置试验及发射药床临界直径试验方法等, 提出了不敏感发射药检测与评估迫切需要发展的方向。研究发射药小型模拟试验及评估技术, 该方法可研究发射药配方组分、药型等对其敏感性响应规律及机理, 有望减少或替代全尺寸发射药装药的外场响应试验; 发展适用于发射药多孔离散状结构的试验方法、反应判据及评估标准, 促进高能不敏感发射药的研究和应用; 开展发射装药对弹药生存能力影响评估技术, 结合典型弹药研究装药结构等对其反应等级的影响规律。

关键词: 发射药; 不敏感特性; 检测; 评估

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2019.09.007

中图分类号: TJ450 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2019)09-0044-04

A Review of Research on Test and Assessment Technique of Insensitive Gun Propellants

YANG Li-xia, ZHANG Heng, ZHANG Yu-cheng, ZHANG Zou-zou
(Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710065, China)

ABSTRACT: To further investigate the insensitive gun propellants, the progresses of study on test technology and damage effect characteristics assessment of propellants were systematically reviewed from large-scale insensitive property test, laboratory sensitivity assessment test and small-scale simulation test and assessment for gun propellants. The paper mainly described the means and methods of small analog detection with the characteristics of propellant, such as hot fragment conductive ignition test, small scale slow cook-off experiment equipment test, and critical diameter test. The development direction for test and evaluation of insensitive propellant was put forward. Small-scale simulation test and evaluation technology of propellant were studied. This kind of method can study the law and mechanism of the influence of propellant composition and grain type on the sensitivity of propellant, and is expected to reduce or replace full-size propellant loading test; develop test methods, reaction criteria and evaluation criteria applicable to porous discrete structure of propellant, so as to promote the research and application of high-energy insensitive propellant; develop the technology for evaluating the impact of propellant charge on the survivability of ammunition, and study the influence law of charging structure on the reaction level of typical ammunition.

KEY WORDS: gun propellants; insensitive; test; assessment

不敏感弹药是指弹药不仅可以可靠地达到规定的性能、战备和操作技术要求, 而且在遭受事故(碰

撞)、严酷环境(火灾)或敌方的攻击(冲击波或高速破片)等意外刺激时, 能把偶然引发的比燃烧反应

收稿日期: 2019-03-15; 修订日期: 2019-04-23

作者简介: 杨丽侠(1964—), 女, 研究员, 主要研究方向为发射药及装药性能检测及评估技术。

更剧烈的概率和随之产生的对弹药载体损害程度减小到最低限度。近代历史上发生过许多灾难性的事故是因弹药对冲击和热刺激敏感而引起的,因此发展不敏感弹药,可提高武器平台战场生存能力和环境适应性,减小意外刺激造成的人员伤亡和财产损失,是国内外弹药研究的发展方向^[1-4]。作为弹药的主要组成部分,发射药装药占有着弹药大部分体积,容易成为战斗中的攻击目标,所以发射药的敏感程度是影响弹药不敏感性的主要因素,发射药的不敏感性是评价弹药敏感程度和生存能力的关键参数。

弹药及发射药在战场环境下受到的外界刺激主要有热刺激、机械刺激、爆炸冲击波、聚能装药金属射流及破片综合刺激等^[5-1]。发射药受到刺激后的响应与其熄灭、自维特点火特性有关,作用时间是与材料的性质、实际刺激类型及能量输出水平相关联的,在此期间发生的所有复杂物理化学过程是以瞬时点火现象为特征的。由于不可能完全再现各种刺激条件,不敏感的评价方法都是近似地模拟各种刺激条件,通过各项试验结果来综合分析和评价弹药及发射药的不敏感性。伴随着不敏感发射药的发展,各国模拟不同的刺激源,研究其检测评估技术和标准^[3-14]。评估试验可分为“全尺寸”发射药装药不敏感试验评估、发射药实验室感度试验方法及小型模拟试验方法。文中综述了发射药在各类刺激源下响应特性检测评估技术的研究进展,重点阐述了具有发射药特点的小型模拟检测评估手段和方法,以准确评价发射药的不敏感特性,并提出了发展与展望,为不敏感发射药及装药研究提供参考。

1 “全尺寸”发射药不敏感性能试验及评估

该类试验也称发射药装药不敏感性能大型考核试验,主要是评价发射装药的不敏感性,其考核结果不仅与发射药配方自身的性能有关,还与发射装药的装填条件、装药结构等密切相关,因此一般是针对特定的弹药用发射药装药结构进行试验评估。典型评估试验是美军标 MIL-STD-2105《非核弹药的危险性评估试验》和北约的 STANAG 4439《不敏感弹药的介绍、评估和试验政策》等^[7-10]。意外刺激源基本统一在快速烤燃、慢速烤燃、子弹撞击、破片撞击、殉爆试验、空心装药射流等 6 个方面。进行试验考核时,发射装药及弹药的反应剧烈程度分级类型为:完全爆轰(I)、部分爆轰(II)、爆炸(III)、爆燃(IV)、燃烧(V)及无反应。美国及北约等依据不同刺激源及反应类型规定了不敏感弹药的合格判据。国内参比建立了 7 种刺激源的发射药低敏感试验手段,设计了可模拟弹药结构的 1 kg 级约束壳体,并对典型粒状发射药装药初步进行了评估试验研究^[15-18]。从实验结果

看,对于发射药装药,射流撞击和高速破片撞击是较为严厉的刺激,会引起部分爆轰反应,但至今没有形成针对发射药的评估标准。该类试验其能量输出水平固定、响应过程可测量参数少、试验成本高,难以考核发射药配方微调对其易损性响应的影响。

2 发射药实验室感度试验方法

该类试验一般指毫克级的小药量感度试验。对不敏感弹药的第一要求就是减少因热刺激而发生的强烈反应,因此热刺激感度试验方法较多。主要有爆轰点(5 s 延滞期试验)、火焰感度、发火点法、差热扫描量热分析试验、CO₂ 激光试验等;撞击感度试验方法主要有落锤撞击试验、射流源撞击试验等;冲击波感度主要有雷管法等。不敏感弹药研究更侧重于炸药感度的研究,各类感度试验方法的研究和建立是以炸药的性能特征为基础的。如冲击波刺激感度试验方法,主要适用于炸药的冲击波和爆轰感度研究,输出能量较高,样品侧重于剧烈反应(爆炸、爆轰),用于不敏感发射药的检测试验及评估需要进行改进。此外,各类刺激下的感度试验样品微量,在 10 mg~1 g 之间,仅能反映配方组分的特性,通常主要用于发射药配方组分敏感性评价。由于此类被试样品与发射药装药的应用状态相差较大,因此需要研究感度评价与发射药装药外场试验结果的关联性,筛选典型的感度试验方法,作为发射药配方研究的快速筛选方法,指导不敏感发射药的配方研究。

3 发射药小型模拟试验方法

该类模拟试验方法可以研究发射药粒的不敏感响应规律和机理,能量输出水平灵活可调,试验成本低,周期短。针对不同的刺激源类型有多种模拟试验方法^[19-27],代表性的方法有热碎片传导点火试验、小规模烤燃试验、发射药床临界直径试验、落锤撞击试验、霍普金森杆撞击试验、小型冲击波刺激试验及小规模空心装药射流撞击试验等。

S. Wise 和 J. J. Rocchio^[19]采用一定温度的钢球模拟碎片,将碎片加热到一定温度,释放碎片,使其自由落体到样品表面。利用高速摄影观察其点火和燃烧过程,嵌埋热电偶测量其反应区温度,采用压力传感器测量气相反应区压力。通过钢球点燃发射药粒的点火临界温度等参数,评价在热碎片刺激下发射药的敏感性能,研究其热响应机理。美国研究表明,该热碎片传导点火试验可模拟子弹冲击弹药外壳生成碎片,或锥状装药喷射穿过弹壳引起的发射药点火,可预估子弹撞击和射流撞击野外易损性试验结果,可准确评价发射药对破片引燃的相对敏感度,取代费用昂贵且耗时的野外试验,如图 1 所示。

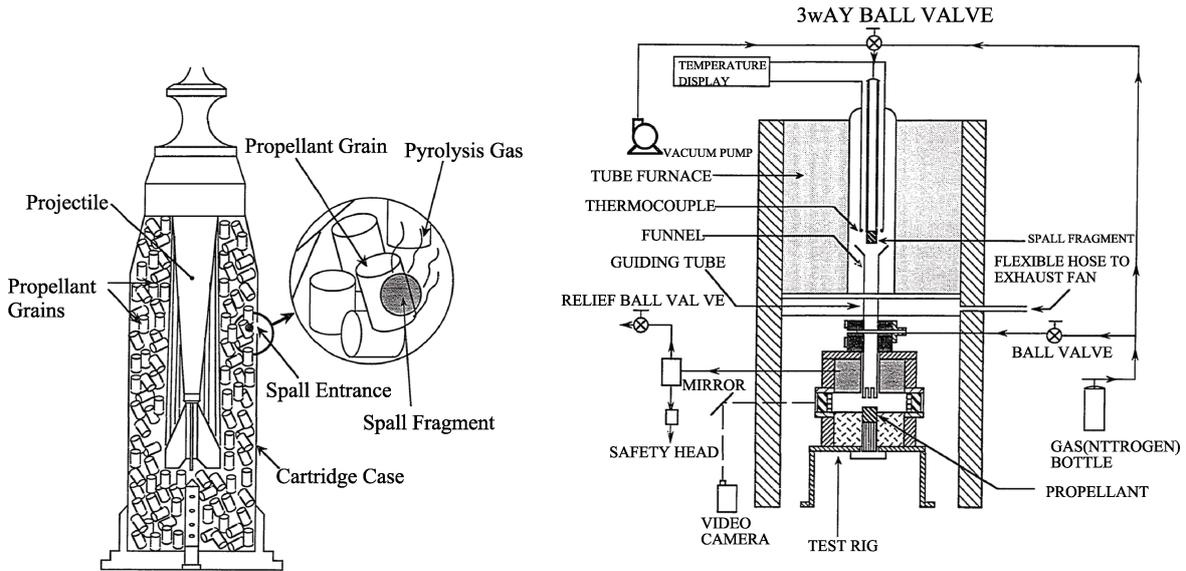


图1 热碎片传导点火装置

俄国莫斯科 Mendel 化学工业大学建立了小规模慢速烤燃装置 (SCB)^[20], 用来研究发射药整个慢速烤燃过程中最难理解的火焰加速及爆燃转爆轰过程。采用小型烘箱观察发射药在加热过程中的物理状态变化。试验使用3个热电偶, 插入样品中心, 试验开始以 55 °C/h 快速升温, 55 °C 后改以 5.5 °C/h 慢速升温, 使用有内聚光等的摄像机检测加热过程中试样物理状态的变化, 如图 2 所示。

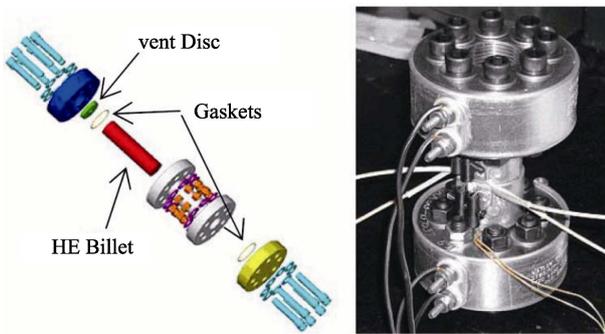


图2 小规模慢速烤燃试验装置

英国研究了一种发射药床临界直径试验方法^[21], 用于评价 IM 材料以及 LOVA 发射药的易损性。被试材料放在一个可燃药筒中, 测量爆燃的超压和冲量, 可研究空心装药射流撞击与发射药弧厚的关系。发现火炮发射药的物理尺寸对冲击波能否顺利通过药床有较大的影响, 单颗药粒的大小若达到或超过其药床的临界直径, 冲击波从起点开始继续传播, 反之, 则会衰减。药粒中的固体颗粒大小最佳化也有利于控制爆轰传播。众多危险性刺激用于评价火炮发射药的易损性, 最严厉的刺激是空心装药射流撞击, 并将这种刺激作为一种筛选工具用于配方研究中, 来筛选评价发射药配方。采用的装置与炸药临界直径试验装置最大的不同之处是前者可直接使用有孔的发射药试样, 而不需专门加工成规定长径比的药柱, 同时还可检测

爆轰速度。通过这样的试验, 可以对发射装药中现用的发射药 (总体配方不变) 药型、内外孔径、以及所含固体粒度等参数进行筛选, 找出相应对冲击波不敏感的发射药床临界直径。然后, 在小于这个临界直径的弧厚范围内制作符合弹道性能的发射药。

快速烤燃试验装置用裸型电加热器 (2×350 W, 2×400 W), 以 2 °C/s 的速度加热装在一个 35 mm 钢制样品盒中的弹药。根据样品盒损坏情况将弹药分级, 分级弹药装在样品盒中, 进而经受空心装药和热破片撞击试验。空心装药和热破片效应采用一套装置试验同时实施^[22]。

美国建立了小型冲击波点火模拟试验装置, 冲击波产生热气流压力为 1.38 ~ 2.77 MPa, 温度为 1100 ~ 1500 K, 流速为 60 ~ 70 m/s。可研究 X39 等发射药的响应规律, 并对现有的炸药试验装置进行了改进, 建立了适合于发射药的试验装置和方法^[23]。

S. DeMay 在落锤装置的基础上, 设计了密闭的撞击室, 可测量样品在落锤撞击中的压力上升速率, 并通过样品反应释放气体推动铅弹所做的功来间接测量样品释放的能量, 从而判断样品的易损性。试验结果表明, 样品所释放的能量与落锤质量及落高无关, 用平均压力升高速率可衡量样品的撞击敏感性。

K. P. Duffy 对霍布金森杆试验进行了改进, 其冲击装置将一个可移动的输入杆射向固定输出杆, 样品用油脂粘结在固定输出杆的一端, 两杆之间样品因撞击造成压缩, 测量载荷大小的应变仪与输出杆相连, 用高灵敏度的光电检测器与冲击波压力表测定样品点燃和爆炸现象。对样品进行撞击速度为 6 ~ 30 m/s 范围的试验, 可得到临界撞击速度与点燃概率的关系。

4 结语

1) 发射药小型模拟试验及评估技术。该类试验

方法是国外近年来发射药不敏感性能检测与评价发展的热点,可研究发射药配方组分、药型等对其易损性响应规律及机理,有望通过小型模拟试验的检测和评估来替代全尺寸发射装药的外场响应试验,或者减少装药的试验项目和试验量。由于发射药和炸药在配方、工艺及装药结构上的差异,因此需要发展具有发射药结构特点的模拟手段。如热碎片传导点火、可控烤燃试验及发射药床临界直径试验方法等,并提高测量重复稳定性。

2) 不敏感发射药试验方法、反应判据及评估标准。我国针对炸药等制定了相应的试验标准,也形成了国际公认的低敏感炸药配方,但是没有公认的不敏感发射药试验方法、反应等级的评判准则及评估标准,导致发射药的不敏感性能评价缺乏依据。至今我国没有公认的不敏感发射药,严重制约了不敏感发射药技术的发展,迫切需要发展适用于发射药多孔离散状结构的试验方法、反应判据及评估标准,促进高能不敏感发射药的研究和应用。

3) 发射装药对弹药生存能力影响评估技术。国外针对低敏感弹药的试验方法及评估标准体系较为完善,但是缺乏系统研究发射药低敏感特性与弹药生存能力的关系。应针对典型武器弹药,研究全弹结构弹药易损性响应的影响因素,分析发射药装药对其反应等级的影响规律。如点传火结构、弹丸结构对反应等级的影响,以推动不敏感弹药及发射药的发展。

参考文献:

- [1] 张春海. 不敏感弹药让士兵和武器更安全[J]. 现代军事, 2006(2): 54-59.
- [2] 董海山. 钝感弹药的由来及重要意义[J]. 含能材料, 2006, 14(5): 321-322.
- [3] 智小琦, 胡双启, 王东青. 钝感弹药的发展与分析[J]. 中北大学学报, 2008, 29(3): 236-238.
- [4] 范士锋, 董平, 李鑫, 等. 国外海军弹药安全性研究进展[J]. 火炸药学报, 2017, 40(2): 101-106.
- [5] 胡晓东, 冯成良, 刘俞平, 等. 舰载弹药战斗部不敏感技术分析[C]// 第六届含能材料与钝感弹药技术学术研讨会论文集. 成都: 中国工程物理研究院, 2014.
- [6] 梁晓璐, 梁争锋, 程淑杰, 等. 不敏感弹药试验方法及评估标准研究进展[J]. 飞弹导航, 2016(6): 84-87.
- [7] MIL-STD-2105C, Non-nuclear Munitions Tests of Risk Assessment[S].
- [8] MIL-STD-2105D, 非核弹药危险性评估试验[S].
- [9] STANAG 4439, 引入与评价不敏感弹药的政策[S].
- [10] DGA/IPE, 不敏感弹药评价标准[S].
- [11] DOOLAN C. A Two-stage Light Gas Gun for the Study of High Speed Impact in Propellants[R]. DSTO Aeronautical and Maritime Research Laboratory, 2001.
- [12] LEACH C, KELLY J. Factors Affecting the Vulnerability of Composite LOVA Gun Propellants[C]// Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology Symposium. Arlington: NDIA, 2000.
- [13] 钱立新 梁斌 牛公杰. 不敏感弹药安全要求及设计技术[C]// 第六届含能材料与钝感弹药技术学术研讨会论文集. 成都: 中国工程物理研究院, 2014.
- [14] 王翔, 黄毅民, 文尚刚, 等. 钝感弹药安全性评估试验方法研究进展[C]// 全国危险物质与安全应急技术研讨会论文集. 成都: 中国工程物理研究院, 2011.
- [15] 杨丽侠, 张玉成, 张邹邹, 等. 射流撞击下发射装药的易损性响应特性[J]. 火炸药学报, 2012, 35(2): 74-77.
- [16] 张邹邹, 杨丽侠, 刘来东, 等. 子弹撞击对发射药易损性响应影响研究[J]. 含能材料, 2011, 19(6): 715-719.
- [17] 杨建, 贾宪振, 余然, 等. RDX 基发射药子弹撞击特性研究[J]. 火工品, 2011(5): 14-17.
- [18] 张邹邹, 张衡, 杨丽侠, 等. 约束条件对发射装药机械冲击作用下敏感特性的影响[J]. 火炸药学报, 2018, 41(2): 192-196.
- [19] WISE S, ROCCHIO J J. Binder Requirements for Low Vulnerability Propellants[C]// Proceedings of the 18th JANNAF Combustion Meeting. CPIA Publication, 1981.
- [20] KONDRIKOV B N. Investigation of Cook-off-type Test Methods[C]// The 11th International Detonation Symposium. Snowmass Village: Mendeleev University of Chemical Technology, 1998.
- [21] HORST A, BAKER P. Insensitive High Energy Propellants for Advanced Gun Concepts[C]// 19th International Symposium of Ballistics. Interlaken, Switzerland, 2001.
- [22] CHRIS L, JIM K. Factors Affecting the Vulnerability of Composite LOVA Gun Propellants[C]// 2000 Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology Symposium. 2000.
- [23] DAVID F D, ANTHONY P K. Shock Initiation Studies of Composite Gun Propellants[C]// 30th International Conference of ICT. United Kingdom: Defence Evaluation & Research Agency, 2017.
- [24] SANDUSKY H W, CHAMBERS G P, ERIKSON W W, et al. Validation Experiments for Modeling Slow Cook-off[R]. Maryland: NAVSEA Indian Head Division & Sandia National Laboratories, 2002.
- [25] PACE K K, HSIEH W H, KUO K K. Hot Fragment Conductive Ignition Characteristics of Solid Propellants[C]// 26th Joint Propulsion Conference. Orlando, FL, USA, 1990.
- [26] KUO K K, HSIEH W H, HSIEH K C. Modeling of Hot Fragment Conductive Ignition of Solid Propellants with Applications to Melting and Evaporation of Solid[J]. Journal of Heat Transfer, 1998, 110(3): 670-679.