

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2017.08.00X

文章编号: 1006-9941(2017)08-0618-04



## 欧美钝感弹药技术发展现状与趋势

**鉴于** 20 世纪 60 ~ 80 年代四次航母重大事故和一次次弹药事故的惨痛教训,促使以美国为首的西方国家提出并决策研发钝感弹药 (Insensitive Munition, IM), 走过了一条“从概念到政策”、“从定义到标准”和“从研制到装备”之路。不敏感含能材料、缓解技术、试验与评估技术等 IM 关键技术得到了长足发展,了解其现状及发展趋势,对于提升我国弹药的综合性能具有参考意义。

### 1. 不敏感含能材料技术

#### 不敏感高聚物粘结炸药 (PBX)

主要是以黑索今 (RDX)、奥克托今 (HMX)、3-硝基-1,2,4,3-唑-5-酮 (NTO) 等为基的 PBX, 是 IM 中重要的一类,分别用压装、浇铸、挤压工艺装弹。国外以 RDX、HMX 为基的 PBX 代表性配方包括 PBXW115、KS57、CPX200、ORA86、PBXW114、AFX-757 等,以 NTO 为基的主要有 B2214、B3017、B2248 等,这些炸药满足 IM 的部分或全部要求。2000 年以后,I-RDX 和 I-HMX 研制成功,其冲击波感度在浇铸 PBX 中降低 30% 左右。(I J Lochert, M D Franson, B L Hamshere. *Reduced Sensitivity RDX Part I: Literature Review and DSTO Evaluation DSTO-TR-1447, 2003.*) 目前,I-RDX 和 I-HMX 开始大规模应用于武器弹药中,显著提升了弹药安全性。(A Freche, C Spycykerelle, S Lecume. *SNPE Insensitive Nitramines [C] // 2003 IMEMS. Orlando, Florida, March, 2003.*) 近年,国外开展了以 FOX-7、TEX 等新型不敏感单质炸药为基的 PBX 应用研究。EURENCO 的研究表明,以 FOX-7 替换 PBXN-109 中的 RDX,其冲击波感度 (LSGT 试验起爆压力 6.82 GPa) 比 I-RDX 基 PBXN-109 (LSGT 试验起爆压力 5.37 GPa) 低 27%,由此可见,FOX-7 比 I-RDX 更具有应用价值。(C Collet, B Le Roux, B Mahe, et al. *FOX-7 based insensitive cast PBX [C] // 2009 IMEMS. Tucson, AZ, May, 2009.*)

#### 不敏感熔铸炸药

主要是 2,4-二硝基苯甲醚 (DNAN) 基熔铸炸药,此类炸药从 2000 年前后开始研究,典型代表为 IMX-101、IMX-102、IMX-103、IMX-104、OSX-7、OSX-8、OSX-12、PAX-28、PAX-41 等,取代 TNT、B 炸药等熔铸炸药。其中,IMX-101 具有优异的 IM 特性,用于代替大口径火炮中的 TNT 装药,该配方及其原始组分都由 Holston 陆军弹药厂 (HSAAP) 生产,于 2010 年 2 月通过了炮弹主装

药配方资格认证,又于6月通过了155 mm M795 炮弹主装药的定型认证,其综合性能明显超过TNT。(Virgil Fung, Ben Schreiber, Charlie Patel, et al. *Process improvement and optimization of insensitive explosive IMX-101*[C]//2010 IMEMS. Munich, Germany, October, 2010.)

### 不敏感传爆药

许多国家对不敏感传爆药开展了深入的研究,已发展了多种配方,典型的如美国的PBXN-7、英国的BX系列等,在美、英的钝感弹药中得到了广泛应用。此外,美国利弗莫尔国家实验室研制的RX-55系列的LLM-105为基的PBX配方在不敏感传爆药应用中有较大潜力,引起了国际炸药界的极大兴趣,以LLM-105为基的传爆药配方研制和定型工作被美国能源部列入2003财年的重点研究计划。此外,以TATB、HNS为基的不敏感传爆药也进行了广泛研究。如ITEX-07(60% TATB/35% RDX/5% Binder)不同约束条件和尺寸下的慢烤反应烈度均显著低于PBXN-5(95% HMX/5% Binder)。(Helmut Z. *Tube testing for IM assessment of the booster explosives PBXN-5 and ITEX-07*[C]//2012 IMEMS. Las Vegas, NV, May, 2012.)

### 不敏感推进剂

以HTPB、聚醚/聚酯基推进剂为主,其快速烤燃、子弹撞击、破片撞击等试验基本满足IM要求,相对而言聚醚/聚酯基推进剂的IM特性优于HTPB基。(Herman H Weyland, Marvin L Jones, et al. *Propellant development for insensitive munitions:IM testing*[C]//2000 IMEMS. San Antonio, Texas, United States of American, 2000.)此外,跌落试验的反应烈度最低,基本为无反应;反应烈度最高的是射流和慢烤试验,基本是爆燃反应以上;而殉爆试验并不像炸药那么难以通过IM标准,燃烧反应以下的推进剂也占相当份额。(Raymond Coleno, Jean M Larrieu, Didier Zanelli. *IM tactical solid rocket motor failure mode protocol*[C]//2012 IMEMS. Las Vegas, NV, May, 2012.)

## 2. 缓解技术

缓解技术主要是指采用各种技术手段降低弹药遭受意外刺激时的反应烈度和危害程度,提高弹药的本质安全性,缓解技术分为主动缓解和被动缓解技术。主动缓解技术主要采用含能材料削弱壳体或形成排气通道,如反应壳体。被动缓解包括安全装药技术(如双元装药,钝感装药等)和弹体结构设计缓解,其设计原理主要包括:(1)降低约束强度(如壳体刻槽);(2)控制能量释放路径(如排气通道);(3)控制能量进入路径(如防护技术)。

防护技术也是缓解技术的重要手段,对于抑制外界刺激,降低弹药反应烈度起到重要作用。如,对于高速破片最典型的办法是采用多层防护罩,采用硬的和吸能复合材料,对相对较薄的防护

罩提供有效的保护,同时防护罩可以减小射弹速度、削弱破片速度和抑制火焰的传播;弹头上采用膨胀发泡涂料,遇火烤时涂料发泡、阻然、隔热,以改善弹药在火灾和快烤燃试验中的性能。美国已将涂料 RX2390、FM26 用于响尾蛇、麻雀、哈姆等导弹。

### 3. 试验与评估技术

试验与评估技术也是钝感弹药的关键技术之一,美国自 1984 年实施 IM 计划七年后,才在 1964 年颁布的 WR-50 和 1982 年执行的 DOD-STD-2105 基础上,于 1991 年形成了 MIL-STD-2105A《非核武器弹药危险性评估标准》,明确规定了钝感弹药试验的七种方法,可见成熟的技术和标准需要相当长的时间。此后,MIL-STD-2105A 相续在 1994 年、2003 年和 2011 年升级为 B、C、D 版。北约于 1996 年发布了钝感弹药评估和试验标准 STANAG 4439,以及相应的执行文件 AOP-39,目前已经发展到第三版,其有关试验方法见表 1。(STANAG 4439 edition 3. Policy for introduction and assessment of insensitive munitions.)

可见,钝感弹药试验实际上考虑了弹药贮存、运输、作战等全寿命周期可能遭受的危险刺激,根据刺激不同而采取不同的试验方法和试验参数。以射流试验为例,美国试验方法针对的危险源是前苏联的 RPG-7,加载手段选取口径 81 mm 的成型装药。其选择依据是根据  $v^2d$  确定的能量水平而确定的,其中  $v$  和  $d$  分别是射流头部速度和直径,这个能量水平取决于药型罩材料、口径和结构,对铜罩而言,相应的成型装药口径大致为 45 ~ 120 mm。

表 1 STANAG 4439(第三版)规定的钝感弹药鉴定试验

序号	威胁场景	测试项目	通过要求
1	弹药库着火、飞机/舰船燃料着火	快速烤燃试验	反应等级 V, 燃烧
2	临近弹药库、飞机、舰船着火	慢速烤燃试验	反应等级 V, 燃烧
3	小型武器攻击	子弹撞击试验	反应等级 V, 燃烧
4	破片攻击	破片撞击试验	反应等级 V, 燃烧
5	聚能武器攻击	射流撞击试验	反应等级 III, 爆炸
6	同种弹药在固定弹药库或移动弹药库中爆轰	殉爆试验	反应等级 III, 爆炸

### 4. 钝感弹药技术发展趋势

随着技术的发展,国外将安全技术综合应用于弹药安全性改造,取得了丰硕的成果。美国以 PBXN-109 取代 500 磅航弹的 H6 装药,并结合缓解结构设计,安全性显著提升,满足 IM 试验的四

项标准,而换装前一项标准也满足不了,可惜的是射流和殉爆两项试验仍不满足 IM 标准,见表 2。(Jen Duchow, Brian Hays. *General purpose bomb fast cook-off mitigation techniques*[C] // 2010 IMEMS. San Antonio, Texas, United States of American, 2010.) 从表 2 可知,仅仅换装 PBX 即明显提高安全性,加上缓解结构,尽管快烤反应烈度降低了,但破片撞击反应烈度却提高了,说明弹药安全性的核心是不敏感炸药,应针对不同刺激采取相应的缓解技术,方可全面提升安全性。法国采用 I-RDX 为基的 B2214B 浇铸 PBX、缓解结构、涂层(FM26)防护等技术显著提升了 500 磅航弹安全性,全面满足 IM 标准。(Laurent Delrieu. *New French IM 500lb bombs* Laurent Delrieu. *New French IM 500lb bombs*[C] // 2010 IMEMS. San Antonio, Texas, United States of American, 2010.)

表 2 美国 500 磅航弹安全性提升历程

时间	型号	装药及技术	快烤	慢烤	枪击	破片	殉爆	射流
1980 年前	MK82	H6(TNT/RDX/Al)	F	F	F	F	F	F
1980 年后	BLU-111A/B	PBXN-109	IV	IV/V	V	V	F	F
2005 年	BLU-111C/B	PBXN-109、缓解结构	V	IV	V	IV	F	I

注: I—爆轰, II—部分爆轰, III—爆炸, IV—爆燃, V—燃烧, F—未通过。

目前,钝感弹药的概念在进一步延伸与拓展,逐步将安全的智能化设计、环境影响、老化影响等纳入范畴,成为系统水平的概念,如 IM SHIP 概念就是一种弹药与平台系统解决方案,相应的技术也在不断发展。在不敏感炸药方面,以高品质炸药(如 I-HMX)为基的 PBX 成为今后发展趋势,同时,加快新型不敏感单质炸药在 PBX 中的应用也成为今后的研究热点;在缓解技术方面,新的记忆合金等新材料、新的防护理念和技术是今后的发展趋势;在试验技术方面,针对激光武器、微波武器、光子鱼雷等新概念/新型武器打击的安全性评估技术是未来发展的重点。

黄亨建,路中华,刘晓波,蒋治海

中国工程物理研究院化工材料研究所

中国工程物理研究院安全弹药研发中心

e-mail: hhenry0816@sina.com