

doi: 10.7690/bgzdh.2017.07.018

固体推进剂易损性试验研究

王建灵¹, 刘海让², 杨建¹, 金朋刚¹

(1. 西安近代化学研究所, 西安 710065; 2. 西安市公安局治安分局危爆科, 西安 710065)

摘要: 固体推进剂易损性评价方法研究是保证高能推进剂安全使用的前提和基础。根据美军标 MIL-STD-2105C 《非核弹药的危险性评估试验》建立的 7 种易损性试验方法, 对典型固体推进剂进行易损性试验, 得到典型固体推进剂在不同刺激下响应特性。结果表明: 推进剂对于刺激源具有选择性, 相同配方推进剂在不同刺激源下响应特性不同。

关键词: 固体推进剂; 易损性; 危险性; 敏感度

中图分类号: TJ510.6 **文献标志码:** A

Vulnerability Experimental Study on Solid Propellant

Wang Jianling¹, Liu Hairang², Yang Jian¹, Jin Penggang¹

(1. Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710065, China;

2. Dangerous & Explosion Department, Xi'an Municipal Public Security Bureau Public Security Sub-bureau, Xi'an 710065, China)

Abstract: The vulnerability experimental evaluation method study is the premise and base for safety use of high energy propellant. Establish 7 vulnerability test methods according to MIL-STD-2105C "non-nuclear hazard evaluation test", carry out vulnerability experiment for typical solid propellant, and acquire response features of typical solid propellant under different stimuli. The results show that the solid propellants have the selective under different stimuli, the same formula have the different response characteristics by different stimuli.

Keywords: solid propellant; vulnerability; hazard; sensitivity

0 引言

为实现高能量、高燃速要求, 固体推进剂中高能量、高敏感组分的含量越来越高; 但是, 推进剂在提高性能的同时也出现了问题, 一些推进剂对于在生产、运输、贮存和使用过程中可能遇到的危险刺激表现出了相当高的易损性, 并伴随产生不被接受的剧烈反应, 造成了严重的后果。在严酷的实战环境中, 由于推进剂的易损性问题, 造成我方武器系统的破坏和人员伤亡, 往往在总损失中占据相当大的比重, 勤务处理中发生的重大意外事故, 也给了人们惨痛的教训。所以研究推进剂在受到热、冲击波、高速撞击、破片和聚能射流的侵彻等外界刺激时, 引发燃烧、爆炸等事故的可能性和严重程度, 已引起高度重视^[1-3]。

笔者在建立 7 种易损性试验方法^[4-6]的基础上对典型推进剂进行易损性评价, 并对响应特性进行了描述, 为推进剂配方研制提供理论支持, 为固体推进剂在不同实验条件下危险性级别的划分提供试验证据。该研究可为固体推进剂的制造、运输、贮存和使用中的安全性提供借鉴。

1 试验

1.1 试验样品

笔者选取几种常用的典型固体推进剂进行安全性试验研究, 分别为浇铸 CMDB 推进剂和 NEPE 推进剂。其中浇铸 CMDB 推进剂分别选择有铝粉和无铝粉 2 种, 均由西安近代化学研究所制备。样品代号及特性见表 1。

表 1 样品特性

样品代号	样品特性
VLN-A	浇铸 CMDB 推进剂, 无铝粉
VLN-B	浇铸 CMDB 推进剂, 有铝粉
VLN-T	浇铸 CMDB 推进剂, 无铝粉, 有惰性添加剂
VLN-N	NEPE 推进剂
SL-30	螺压 CMDB 推进剂, 无硝酸炸药, 有铝粉
MLR	螺压 CMDB 推进剂, 有硝酸炸药, 无铝粉

1.2 易损性实验

火炸药易损特性指火炸药在运输、贮存、勤务处理、训练以及战场使用时, 对外界环境刺激如灼燃、冲击波、高速撞击、破片和聚能射流的侵彻等所具有的承受能力。国内外对于评价火炸药易损性的方法种类较多, 国内主要依据美军标 MIL-STD-

收稿日期: 2017-04-03; 修回日期: 2017-05-04

作者简介: 王建灵(1963—), 女, 研究员, 从事炸药性能评估研究。

2105C《非核弹危险性评估试验》建立了快速烤燃试验、慢速烤燃试验、子弹撞击试验、破片撞击试验、殉爆试验、射流撞击试验和热破片撞击试验7项试验方法并形成了标准。该标准规定了每项试验的步骤和合格判据，并将反应程度分为5种类型，从强到弱依次为：I类，最猛烈的爆轰反应；II类，部分爆轰反应；III类，爆炸反应；IV类，爆燃反应；V类，燃烧反应。笔者按照已建立的试验方法，分别对几种常用的固体推进剂进行这7种试验研究。

2 试验结果

2.1 快速烤燃试验

快速烤燃试验用于考察推进剂在完全被火焰包围后，在快速加热刺激下的响应结果。根据MIL-STD-2105C的要求，在试验过程中，样弹应完全被火焰包围，烤燃试验温度应大于800℃，从点火到550℃所需的时间不大于30s。笔者设计的快速烤燃试验燃料槽主要由800mm×800mm×680mm的低槽体和800mm×800mm×280mm的挡风体组成，挡风体位于低槽体的上部，使用全液体燃料。试验弹体外径58mm，长度222mm，壁厚3mm。试验结果见表2，试验装置见图1。从试验结果可以看出，几种推进剂均只发生了燃烧或分解反应，反应等级均为V级。

表2 快速烤燃试验结果

序号	样品代号	响应程度
1	VLN-A	燃烧
2	VLN-B	燃烧
3	VLN-T	未燃烧，仅轻微分解
4	VLN-N	燃烧
5	SL-30	燃烧
6	MLR	未燃烧，仅轻微分解

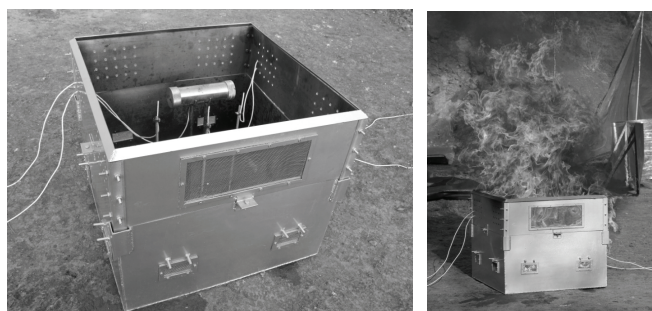


图1 快速烤燃试验装置

2.2 慢速烤燃试验

慢速烤燃试验用于考察推进剂在慢速加热刺激下的反应程度，试验时将推进剂样品装入用金属材料制成的烤燃弹中，两端用金属端盖密封，在烤燃

弹外安装加热套，将烤燃弹以恒定升温速率加热，升温速率为(1.0±0.2)℃/min。一直到被测试样发生响应或温度达到400℃为止，以响应温度和烤燃弹壳体的变形状况评估其慢速烤燃响应特性。模拟烤燃弹体尺寸为外径60mm、长240mm、壁厚3mm。试验结果见表3，试验装置见图2，从试验结果可以看出：除VLN-N外，其余3种推进剂均发生了比燃烧更剧烈的反应。

表3 慢速烤燃试验结果

序号	样品代号	烤燃温度/℃	响应程度
1	VLN-B	165.5	爆燃
2	VLN-T	174.3	爆炸
3	VLN-A	181.5	爆燃
4	VLN-N	162.8	燃烧

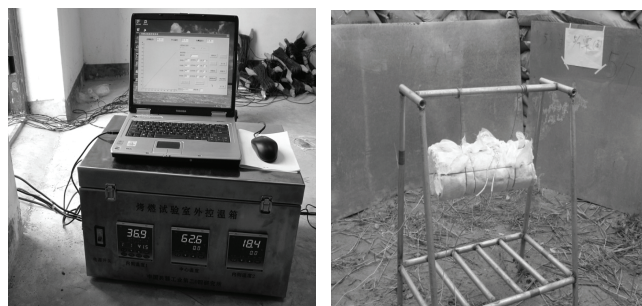


图2 慢速烤燃试验装置

2.3 12.7 mm 子弹撞击试验

12.7 mm 子弹撞击试验用于考察推进剂在受到子弹撞击作用后的反应程度，推进剂试样受到子弹的高速撞击及摩擦等作用而发生反应，通过分析试验现象、回收样品残骸、见证板状态及冲击波超压，判断试样响应的等级，从而评价试样受到战场子弹或抛射体攻击后的安全性。使用12.7mm口径穿甲燃烧弹以(850±20) m/s的速度射击带壳体的火炸药试样。试验药量为500g，试样壳体尺寸：外径58mm，长度222mm，壁厚3mm。试验过程中，子弹撞击样品不同的位置对结果将产生显著影响，为了对推进剂进行详细研究，分别将样品按照与地面呈轴向和径向2种放置方式进行试验，试验结果见表4，试验装置见图3。

表4 子弹撞击试验结果

序号	样品代号	响应程度	
		径向放置	轴向放置
1	VLN-A	燃烧	燃烧
2	VLN-B	部分爆燃	爆燃
3	VLN-T	未响应	燃烧
4	VLN-N	燃烧	—
5	SL-30	爆燃	—



图 3 子弹撞击试验装置

2.4 冲击波殉爆试验

装药在外界作用下发生爆轰时，一定距离的装药会在主发装药爆轰产物、冲击波和破片的作用下发生反应。该试验用于评价装药在受到相同炸药装药爆轰下不同距离处的响应剧烈程度。殉爆试验装置由雷管、3 发主发药柱和 2 发被发药柱组成。试样壳体尺寸 $\phi 58 \text{ mm} \times 222 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ ，2 个试样间距离为 $(70 \pm 2) \text{ mm}$ 。试验结果见表 5，试验装置见图 4。

表 5 殉爆试验结果

序号	样品代号	响应程度
1	VLN-H	燃烧
2	VLN-A	爆轰和爆炸
3	VLN-N	爆炸和爆燃



图 4 殉爆试验装置

2.5 射流撞击试验

射流撞击试验，用于考察推进剂在受到射流撞击时的反应程度，火炸药装药在受到射流撞击时，由于射流为高温、高速的金属粒子流，火炸药会受到冲击、点火等作用而发生响应，通过见证板、超压等手段可以对火炸药的响应程度进行表征，从而判断火炸药在射流撞击作用下的安全性^[7]。试样壳体尺寸：外径 104 mm，长度 154 mm，壁厚 4 mm，标准射流源技术参数：直径 50 mm，采用 J0-8 炸药压制；46°锥角紫铜药型罩；后端传爆药柱为 JH-14 炸药压制，并带起爆雷管孔，炸高为 90 mm；隔板材料为 45#钢，尺寸为 50 mm×85 mm。X 光计算得到射流平均头部速度为 7.9~8.1 mm/ μs ，射流头部

直径小于 5 mm。试验结果见表 6，试验装置见图 5。

表 6 射流撞击试验结果

序	样品代号	超压测试/MPa	主要试验现象	响应类型
1	VLN-H	0.29,—	见证板裂为两半，孔洞直径为 160 mm	爆轰
2	VLN-A	0.22,0.35	见证板有一直径为 160 mm 的孔洞	爆轰
3	HTPB-1	0.126,0.128	见证板有射流穿孔	爆燃
4	HTPB-2	0.125,0.122	见证板有射流穿孔	燃烧

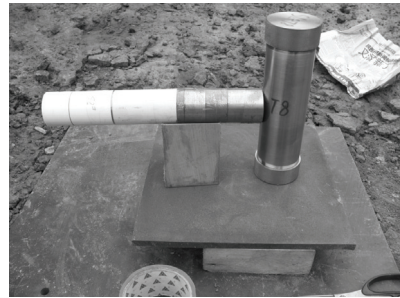


图 5 射流撞击试验装置

2.6 12.7 mm 破片撞击试验

12.7 mm 破片撞击试验用于考察推进剂在高速破片撞击作用下的反应程度，在破片的高速撞击及摩擦等因素作用下，机械能迅速转化为热能，火炸药受热可能发生分解甚至点火、燃烧或爆炸反应。通过观察试验现象、回收样品残骸、观察见证板状态和测量冲击波超压，综合分析判断响应的等级：评价试样的安全性。使用直径为 12.7 mm 圆锥软钢体以 $(1\ 830 \pm 60) \text{ m/s}$ 的速度撞击带壳体的推进剂试样。试验中破片直径 12.7 mm，长度 15.8 mm 的圆锥形软钢，破片材料为布氏硬度 (HB) 小于 270 的软碳钢，锥度 20°，破片质量为 16 g，破片速度为 $(1\ 830 \pm 60) \text{ m/s}$ ，试样壳体尺寸直径 58 mm，长度 222 mm，壁厚 3 mm。所得试验结果见表 7，试验装置见图 6。

表 7 破片撞击试验结果

序号	样品代号	响应类型
1	VLN-H	爆炸
2	VLN-N	爆炸或部分爆炸
3	VLN-A	爆轰



图 6 破片撞击试验装置