

壳体密封性对小尺寸弹药快速烤燃响应规律的影响

徐双培¹, 胡双启¹, 王东青², 李娟娟¹

(1. 中北大学化工与环境学院, 山西 太原 030051; 2. 山西省税务干部培训中心, 山西 太原 030001)

摘 要: 选用钝化RDX原料, 对不同密封性的装药壳体进行弹药的快速烤燃试验。利用热电偶测得了弹药壳体不同位置的温度变化, 并将自行编制的软件应用到试验时间和温度的同步采集中, 分析了不同密封条件下弹药的响应规律。结果表明, 软件能够精确采集温度随时间变化的曲线; 在相同装药条件下, 随壳体密封性的增强, 壳体破裂程度越大, 破片越碎小, 炸药发生快速烤燃反应的剧烈程度也越大。

关键词: 爆炸力学; 弹药; 快速烤燃; 低易损性

中图分类号: TJ55

文献标志码: A

文章编号: 1007-7812(2009)03-0035-03

Effect of Shell Sealing on the Response of Small Scale Ammunition in Fast Cook-off Test

XU Shuang-pei¹, HU Shuang-qi¹, WANG Dong-qing², LI Juan-juan¹

(1. Chemical Industry and Ecology Institute of North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. The Training Center of Revenue Cadre of Shanxi, Taiyuan 030001, China)

Abstract: The desensitizing RDX was selected as material. The fast cook-off test of ammunition with different scaling shell was carried out. The temperature change of different position was measured by thermocouples and temperature-time curves were collected by self-design software. The response regularity was analyzed under various conditions. The results show that the software could accurately collect temperature-time curves. Under the same conditions, with the sealing increased, the greater the degree of breakdown, the smaller the fragments the violent response also greater in fast cook-off test.

Key words: explosion mechanics; ammunition; fast cook-off; LOVA

引 言

自1973年提出低易损性(LOVA)弹药概念之后, 其相关研究受到世界各国的高度重视并成为国际会议的重要主题^[1-4]。为此, 美国制定了弹药危险性评估测试标准MIL-STD-2105, 其中包括快速烤燃(外部火烧/FCO)试验。FCO试验是在外部火烧环境下直接对被测物进行加热, 考察弹药随时间和温度变化的响应规律, 使其能够满足在火烧温度下不发生比爆燃更剧烈的反应^[5]。

目前, 国内外研究者在该方面展开了大量的研究工作。胡晓棉等^[6]设计了有关直列式火工品安全性快烤试验装置, 验证装置设计合理并可达到快烤试验条件下的热环境; 吕子剑等^[7]以推进剂为燃料

对JB-9014和JOB-9003炸药件进行快烤试验, 认为炸药中心温度很低; 美国Army Armament研究中心的M Withercell等^[8]对30mm口径的炮用燃烧弹进行了快烤试验, 并用有限差分法进行了模拟计算。

本研究应用自行设计的软件精确记录了FCO时间和温度曲线图, 测得了不同密封性条件下烤燃弹药的反应过程和响应规律。

1 快烤试验

1.1 试剂与仪器

钝化RDX, 甘肃银光化工集团有限公司。

烤燃弹, 山西江阳化工厂; DS-8004HS-S海康威视硬盘录像机, 杭州海康威视科技有限公司; MR13日本岛电温度记录仪。

收稿日期: 2008-11-09; 修回日期: 2009-01-10

作者简介: 徐双培(1983-), 女, 硕士研究生, 从事传爆药研究。

1.2 试验方法

将钝化RDX压制成 $\Phi 23\text{mm} \times 28\text{mm}$ 的药柱,每发药量为20g,共压制15发,压药密度为理论密度的92%。将药柱装入模拟烤燃弹,烤燃弹壳体厚度3mm,分别采用无孔、孔隙面积为端盖面积的1%、3%、5%的螺纹盖固定在弹体两端,每组做3发平行试验。

用铁丝将烤燃弹水平固定在铁架上,并放置在油盆中心位置且弹体距油面一定距离。在弹体周围布置3根热电偶(Tc),分别位于弹体上方5cm(Tc1)、弹体外壁(Tc2)、端盖中心(Tc3),与计算机相连采集温度随时间的变化情况。在烤燃架左、右、后3个方向竖立距烤燃弹1m的见证板,以破片着靶数量和破片穿孔大小作为衡量依据。用航空煤油JP8为燃料,混入少量汽油作引燃料,用点火头将其引燃。试验过程中用硬盘录像机实时拍摄烤燃弹现场响应情况,用温度记录仪检测温度的变化情况。试验结束后,用FCO温度—时间曲线分析软件采集试验结果,并搜集烤燃弹破片,对典型情况进行照相并分析。

2 结果与分析

2.1 试验温度采集结果

油盆中火焰需完全包住烤燃弹使其充分受热,火焰平均温度 $870\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。软件采集到的温度—时间曲线见图1。由图1可以看出,3根热电偶的分布位置不同,测出的温度也不同。弹体端盖中心的平均温度为 $850\sim 900\text{ }^{\circ}\text{C}$;弹上方5cm处的平均温度为 $830\sim 870\text{ }^{\circ}\text{C}$;弹体外壁的平均温度为 $700\sim 750\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。测试曲线表明,不同测试点位置的曲线温度均为上升趋势,且在较短的时间内达到稳定。弹体端盖中心处升温速率最快,温度最高,其次是距油面 $39\sim 40\text{ cm}$ 处;弹体圆柱部升温速率最慢而且温度较Tc3和Tc2有明显的差距,说明烤燃弹周围的温度场变化明显。

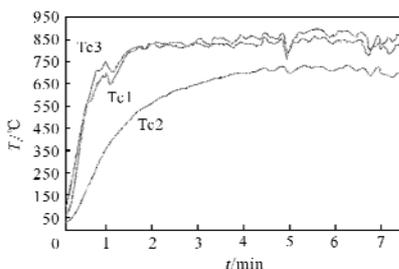


图1 快速烤燃试验的平均火焰温度

Fig. 1 Average flame temperature of fast cook-off test

根据测得的环境温度—时间曲线和数据,拟合出发生爆轰反应的典型曲线,如图2所示。从图2可以看出,温度随时间变化迅速上升,当Tc3温度升至 $673\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时出现拐点,剧增的拐点对应于炸药发生爆轰反应瞬间的环境温度与时间,拐点温度迅速增至热电偶量程温度 $1320\text{ }^{\circ}\text{C}$,随后由于热电偶被炸坏导致温度采集无效。其他烤燃弹的烤燃升温过程与此相似,只是各种弹体在不同密封性条件下,发生烤燃反应时的环境温度和ación有所不同。其中,发生爆燃反应的情况不会导致热电偶的损坏,曲线会先急剧上升然后回至火焰温度,温度采集也不受影响。

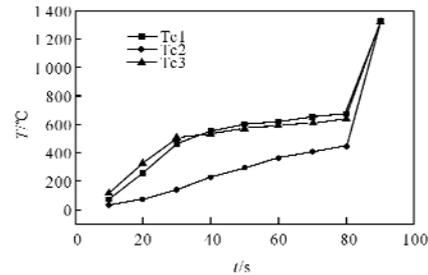


图2 快速烤燃试验的温度—时间典型曲线

Fig. 2 Typical temperature—time curves of fast cook-off test

2.2 快速烤燃试验结果

美国MIL-STD-2105B标准将试验结果分为5个等级^[9]: I类为爆轰反应; II类为部分爆轰反应; III类为爆炸反应; IV类为爆燃反应; V类为燃烧反应。合格判据为试验样品没有比燃烧(V类)更激烈的反应。参考上述标准,将每次试验后搜集到的破片与标准对比分析,确定试验结果等级(反应类型),结果见表1。

表1 不同密封性弹药的烤燃反应结果

Table 1 Results of different sealed ammunition obtained by fast cook-off test

序号	S(孔隙)/S(端盖)	$\bar{t}/^{\circ}\text{C}$	现象	反应类型
1	0	618	端盖、壳体被炸成20多块破片	爆轰
2	0.01	661	螺纹盖冲开,弹体变形,有少量黄色小药块	爆燃
3	0.03	735	端盖冲开,弹体变形,有较多黄色小药块	爆燃
4	0.05	759	端盖冲开无变形,弹体完整未变形,无药块	燃烧

注:S(孔隙)/S(端盖)为孔隙面积与端盖面积的比值,表示壳体的密封性,比值越大,密封性越差。

从表1可以看出,随着壳体密封性的减弱,反应温度逐渐升高,反应逐渐趋于温和。对于快速烤燃反应的剧烈性,目前还无法用定量指标进行衡量,常用壳体的变形和破裂程度来定性评价^[10]。结合反应后搜集的破片照片进行分析,随着密封性的降低,烤燃弹反应程度由爆轰转变为燃烧,反应壳体的变形程度和破裂程度也逐渐减小,即炸药发生快速烤燃反应的剧烈程度在减小。当端盖无孔时弹体完全密封,反应剧烈,壳体破坏程度大,碎片较小较多,安全性差;当 $S(\text{孔隙})/S(\text{端盖})$ 为0.01和0.03时,弹盖均有不同程度被冲开现象,弹体变形,有少量黄色药块残留;当 $S(\text{孔隙})/S(\text{端盖})$ 为0.05时为燃烧反应,端盖虽被冲开但无明显变形,弹体完整未变形,无可见药块,反应的剧烈程度最小。

导致不同响应程度的原因是弹体在火焰受热过程中,温度迅速达到RDX的分解温度,RDX开始发生反应并生成气体,使烤燃弹内压力上升,由于无孔弹体密封完好,压力在弹体内快速聚集,最终产生能够导致弹体破裂的压力;而当弹体端盖的空隙面积逐渐增大时,RDX分解产生的压力可以及时泄出,减少了弹体内的压力,空隙越大压力释放越迅速,其响应程度也越小^[11]。

3 结 论

(1) 自行编制的软件能够精确采集时间-温度变化曲线,能够采集到试验的全部数据并结合曲线图分析烤燃试验中弹药的反应剧烈程度。

(2) 在其他条件相同的情况下,无孔密封壳体弹药发生爆轰反应,而带有孔隙的壳体弹药无爆轰反应。

(3) 4种不同密封性壳体弹药在试验中的响应表现出规律性变化;随孔隙面积的增大,反应温度逐渐升高,反应趋于温和,弹体及端盖破坏程度逐渐减小;当孔隙面积为端盖面积的1%和3%时,反应类型相似;当孔隙面积为端盖面积的5%时,为燃烧反应。

参考文献:

- [1] 李普庆. 低易损炸药的评价方法[J]. 火炸药学报, 1999, 2: 15-18.
[2] Sumrall T S. Large scale fast cook-off sensitivity

results of a melt castable general purpose insensitive high explosive [J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 1999, 24: 61-64.

- [3] Balas M W, Nicolich M S, Daniels M A. Insensitive Munition and Warheads Performance Testing of PAX-3 [C] // 2004 Insensitive Munitions and Energetic Materials Technology Symposium. San Francisco, CA, 2004.
[4] 韩博, 张晓志, 邢浴仁. 一种新型发射装药低易损性能的测试研究[J]. 火炸药学报, 2008, 31(1): 53-55.
HIAN Bo, ZHANG Xiao-zhi, XING Yu-ren. Study on LOVA performances test of a new propelling charge [J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2008, 31(1): 53-55.
[5] 张蕊, 冯长根, 陈朗. 弹药的热烤(Cook-off)实验[J]. 火工品, 2002(4): 37-39.
ZHANG Rui, FENG Chang-gen, CHEN Lang. Cook-off test of ammunition [J]. Initiators and Pyrotechnics, 2002(4): 37-39.
[6] 胡晓棉, 冯长根, 曾庆轩. 直列式火工品装药的热烤试验设计及其研究[J]. 北京理工大学学报, 1998, 18(5): 638-641.
HU Xiao-mian, FENG Chang-gen, ZENG Qing-xuan. Study on design of the cook-off test for explosives used in in-line system [J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 1998, 18(5): 638-641.
[7] 吕子剑, 申春迎, 向永. 以推进剂为燃料对炸药的快速烤燃试验[R]. 绵阳: 中国工程物理研究院科技年报, 2003: 429-430.
[8] Witherell M, Pfeigl G. Prediction of propellant and explosive cook-off for the 30 mm HHEI-T and raufoss MPLD-T rounds chambered in a hot MK44 Barrel advanced amphibious assault vehicle-AAA V, ADA 388280[R]. Springfield, NTIS, 2001.
[9] MIL-STD-2105, Explosive Hazard Assessment Tests [S]. AMSCN6037, 1994.
[10] 冯晓军, 王晓峰, 韩助龙. 炸药装药尺寸对慢速烤燃响应的研究[J]. 爆炸与冲击, 2005, 25(3): 285-288.
FENG Xiao-jun, WANG Xiao-feng, HAN Zhu-long. The study of charging size influence on the response of explosives in slow cook-off test [J]. Explosion and Shock Waves, 2005, 25(3): 285-288.
[11] 冯长根. 热爆炸理论[M]. 北京: 北京科学出版社, 1998.