



一种隔热弹衣对弹体装药反应的影响

王洪波,牛公杰,钱立新,魏雪婷,卢永刚,路中华,张中礼,张 鹤

引用本文:

王洪波,牛公杰,钱立新,等. 一种隔热弹衣对弹体装药反应的影响 [J]. 高压物理学报,2018,32(4):045201.

WANG Hongbo,NIU Gongjie,QIAN Lixin,et al. Influence of Thermal Protection Coat on the Reaction of Explosives in Projectile [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics,2018,32(4):045201.

[当期更多内容>>](#)

您可能感兴趣的其他文章:

[冲击加载和斜波加载下 PBX 炸药细观结构点火特性对比](#)

王洪波,王旗华,卢永刚,梁斌

DOI: 10.11858/gywlxb.2017.01.005

[二次压缩条件下 JOB-9003 炸药特性研究](#)

瞿攀登,陈军,张蓉,钟斌,张旭

DOI: 10.11858/gywlxb.2017.02.007

[新型乳化炸药动压减敏装置的数值模拟研究](#)

程扬帆,汪泉,缪广红,沈兆武,颜事龙

DOI: 10.11858/gywlxb.2016.04.007

[冲击引发 Ti-Si 活性粉体反应过程研究](#)

崔乃夫,陈鹏万,周强,周丙丙

DOI: 10.11858/gywlxb.2017.04.017

[混凝土靶体预开孔对弹丸侵彻性能的影响](#)

王洪波,杨世全,谢若泽,钱立新,卢永刚

DOI: 10.11858/gywlxb.2015.01.012

一种隔热弹衣对弹体装药反应的影响^{*}

王洪波¹, 牛公杰¹, 钱立新¹, 魏雪婷¹, 卢永刚¹, 路中华², 张中礼¹, 张鹤³

(1. 中国工程物理研究院总体工程研究所, 四川 绵阳 621999;

2. 中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621999;

3. 内蒙合成化工研究所, 内蒙古 呼和浩特 010010)

摘要: 采用烤燃试验研究了一种隔热弹衣对弹体装药反应的影响。通过对比包覆隔热弹衣试验件和无隔热弹衣试验件火烧后的反应状态, 发现隔热弹衣对弹体装药反应等级没有明显影响, 但可有效延迟装药热点火反应时间达 32 min, 为火灾环境下弹药救援处置赢得时间。进一步分析发现, 隔热弹衣的热防护效果不仅与其自身的低导热性有关, 也与隔热弹衣和弹体之间的空气间隙有关。

关键词: 装药; 隔热弹衣; 烤燃试验; 反应等级

中图分类号: O381; TJ55

文献标识码: A

随着我国各种大型作战平台陆续服役, 实战化和复杂战场环境对武器弹药的安全性提出了更高要求。以机载弹药为例, 主要有航空炸弹和导弹, 其中航空炸弹的装药量相对较大, 但其安全性却相对较低。同时, 由于航空炸弹在弹药库内处于裸弹(无包装箱)分装存放状态, 一旦发生火灾, 潜在破坏力巨大。因此, 外界热刺激下弹药的安全性研究对提高武器弹药的安全性具有重要意义^[1]。

在弹体结构上设计压力缓解结构(Pressure Mitigation Structure)^[2]是提高弹药在热作用下安全性能的技术途径之一, 美欧各国在 20 世纪开始压力缓解结构设计研究, 已成功应用于部分型号弹药^[3-5], 但此技术适用于新研弹药, 不适用于现役弹药。为弹药装备隔热弹衣可有效提升弹药安全性, 不改变现役弹药的固有属性, 且可延缓热刺激下弹药的反应时间, 为火灾应急处理赢得时间。

以美国、法国为首的发达国家在隔热弹衣研究方面起步较早, 其隔热弹衣设计技术已成功应用于部分型号弹药上。美国海军现役弹衣主要有 MIL-C-81904、FM26^[6], 其 MK80 系列炸弹、MK7Mod6 炸弹、通用炸弹 BLU111 系列均配备了隔热弹衣。在现有弹衣基础上, 美国正计划开发新型弹衣, 其材料要求能够在快烤环境下保护弹头, 且在热防护、价格、使用维护、抗冲击、户外贮存、抗盐雾、勤务运输等环境适应性方面均比原有弹衣更具优越性。法国 CBEMS 导弹装备了隔热弹衣, 其普通隔热弹衣效率比 FM26 低 15%, 国产隔热弹衣的隔热效率与 FM26 相同^[7]。国内对隔热弹衣的研究正处于起步阶段^[8-10], 相关研究鲜有公开报道。

本工作针对弹药在库内贮存时的隔热防护需求, 开展某隔热弹衣的热防护效应试验研究, 考核在火烧环境下隔热弹衣对装药反应状态的影响, 以期新型隔热弹衣的设计提供参考。

1 烤燃试验

1.1 试验原理与方法

试验采用火烧方式进行, 试验油池直径为 2.0 m, 试验时将产品支架放入油池中心, 并将试验件水平摆

^{*} 收稿日期: 2017-05-03; 修回日期: 2017-05-22

基金项目: 国家自然科学基金(11672278); 中国工程物理研究院安全弹药中心自主课题(RMC-2015-ZZ-SJ-B01)

作者简介: 王洪波(1986—), 硕士, 工程师, 主要从事常规武器研制研究. E-mail: 414wanghb@caep.cn

放在支架上,通过点燃煤油对试验件进行加热。通过热电偶测量火焰温度、隔热弹衣内侧温度、弹体壳体外表面温度等数据,结合视频录像和试验后试验件残骸情况,确定试验件装药反应时间及反应等级。

1.2 试验条件

试验加载条件参照美军标 MIL-STD-2105D^[6]进行,通过油池火烧对试验件加热,要求火焰完全覆盖试验件外表面,火源点火后 30 s 内火焰温度达到 550 °C,保持火焰温度在 550~850 °C 之间,直至弹体装药反应结束。

1.3 试验件

试验件由隔热弹衣和装药弹体组成,如图 1 所示。隔热弹衣材料厚 8 mm,由多层材料复合而成。装药弹体由壳体、装药、压盖和螺纹压环组成,其中:装药采用某 RDX 炸药,壳体、螺纹压环及压盖材料均为 30CrMnSiA 合金钢,壳体厚 15 mm。试验件实物如图 2 所示。

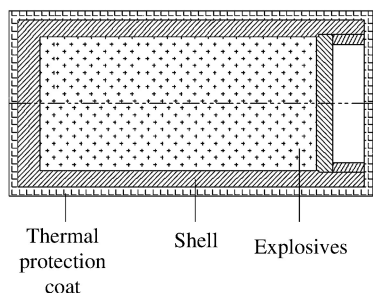


图 1 试验件结构简图
Fig. 1 Configuration of test sample

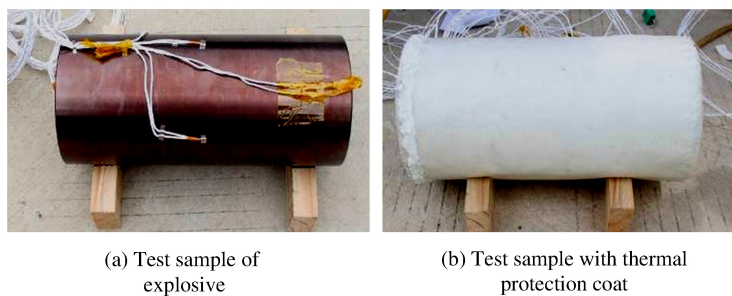


图 2 试验件照片
Fig. 2 Pictures of test sample

2 试验结果与分析

2.1 无隔热弹衣试验件快烤试验结果

无隔热弹衣试验件的摆放状态及其外侧火焰温度测点(Monitoring Point, MP)布置如图 3 所示,火焰温度监测点分布及火焰温度变化如图 4 所示。在前 20 s 内各点火焰温度基本呈线性上升,22 s 时各点火焰温度呈现波动状态。试验件在油池点火后 2.55 min 发生爆响,试验件从支架上飞出,与图 4(b)中监测点 3、4 的信号曲线急速下降,试验件发生反应从支架上飞出时刻相对应。

在整个火烧过程中,通过观察监控视频画面发现,出现了试验件头部暴露在火焰外的情况。由于油池尺寸、气象(风)及防护墙等因素,致使火焰并未完全覆盖试验件的两端,从而导致监测点 1 的火焰温度低于其他 3 点。

油火熄灭后试验件破坏情况如图 5 所示。压盖和螺纹压环崩落,且变形严重。火烧后壳体表面积炭严重,壳体柱壳段无明显变形,但壳体头部变形较严重,中心位置向外凸起,变形量约 16 mm。螺纹压环和压盖等部件虽有较大变形,但并未破碎形成破片,结合地面散落的大量残药,按照 MIL-STD-2105D、AOP-39(第 3 版)和 STANAG-4439(第 3 版)对弹药在快烤条件下装药反应等级划分标准的描述,装药弹体的反应等级可划分为爆燃反应^[2,6,11]。

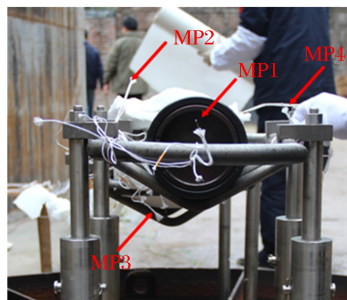


图 3 无隔热弹衣试验件摆放状态及其外侧火焰温度测点布置
Fig. 3 Placement of test sample without thermal protection coat and distribution of monitors

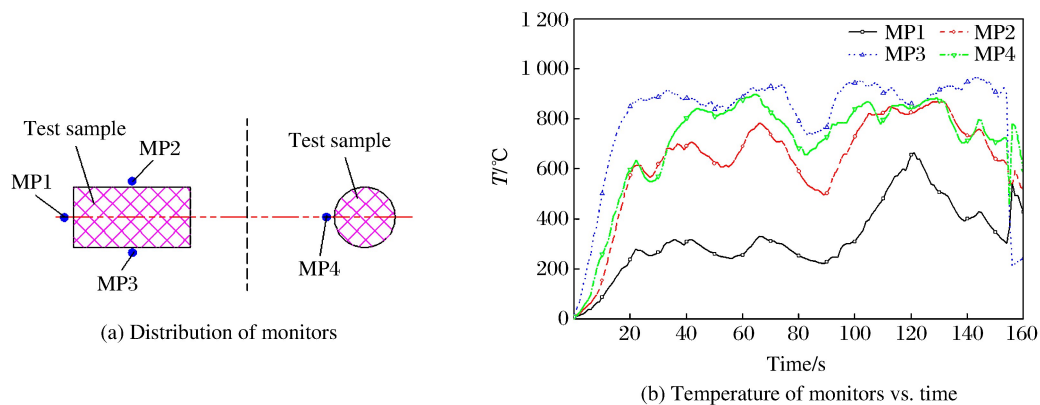


图 4 无隔热弹衣试验件外侧火焰温度监测点分布及其温度变化

Fig. 4 Distribution of monitors and their measured temperature of test sample vs. time without thermal protection coat



图 5 试验件破坏状态

Fig. 5 Damage state of test sample

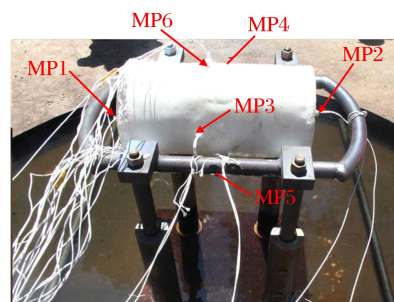
2.2 包覆隔热弹衣试验件快烤试验结果及分析

包覆隔热弹衣试验件的摆放状态及其外侧火焰温度监测点布置如图 6 所示,火焰温度监测点分布及其温度随时间的变化如图 7 所示。

试验件在油池中的火烧过程如图 8 所示。油池点火 30 s 后火焰基本稳定,整个火烧过程火焰较稳定;由于火场周围遮挡不闭合,受风的影响,存在火焰偏斜、试验件暴露在火焰之外的情况,但时间相对较短;油池点火后 34.67 min 试验件发生反应。由于隔热弹衣的热防护作用,试验件装药弹体的反应时间远大于无隔热弹衣包覆的情况。

隔热弹衣内表面(测点 9、10、11)、弹体外表面监测点(测点 12、13、14)分布及其温度变化如图 9 所示,温度随时间的变化取至试验件反应时刻。试验件头部的测点 9 与测点 12 的温度变化趋势较一致,整个火烧过程中,两测点温差逐渐减小,最后趋于一致,其主要原因是:隔热弹衣与弹体之间未紧密贴合,中间存在空气层,试验过程中,空气层起到隔热作用,随着火烧的进行,温度逐渐趋于平衡,温差逐渐减小,温度趋于一致。试验件中下部的测点 10 和测点 13 在火烧开始时存在较小温差,但很快两测点温度趋势一致,主要由于该处弹体直接压在隔热弹衣上,二者之间的空气较少。与此不同,尾部的测点 11 和测点 14 在整个火烧过程中温差均较大,且始终未趋于一致;由于尾部是隔热弹衣闭合处,测点 14 位于隔热弹衣端盖内层,与弹体测点 11 有较大空隙,空气层较厚,因此试验过程中温度未达到平衡。

包覆隔热弹衣的试验件上,同一位置由外而内各测点温度随时间的变化如图 10 所示。可见,试验件尾部火焰温度、隔热弹衣内表面、弹体外表面的温差较大,试验件反应时各测点温度分别为 879.6 °C、

图 6 包覆隔热弹衣试验件的摆放状态
Fig. 6 Placement of test sample with thermal protection coat

234.2 °C 和 231.7 °C。外侧火焰温度与隔热弹衣内侧温度温差达 645.4 °C。隔热弹衣内表面、弹体外表面的温差逐渐变小,由于隔热弹衣与弹体未紧密贴合,中间存在空气层,加热约 34 min 后,热传导处于平衡态,二者温差较小。

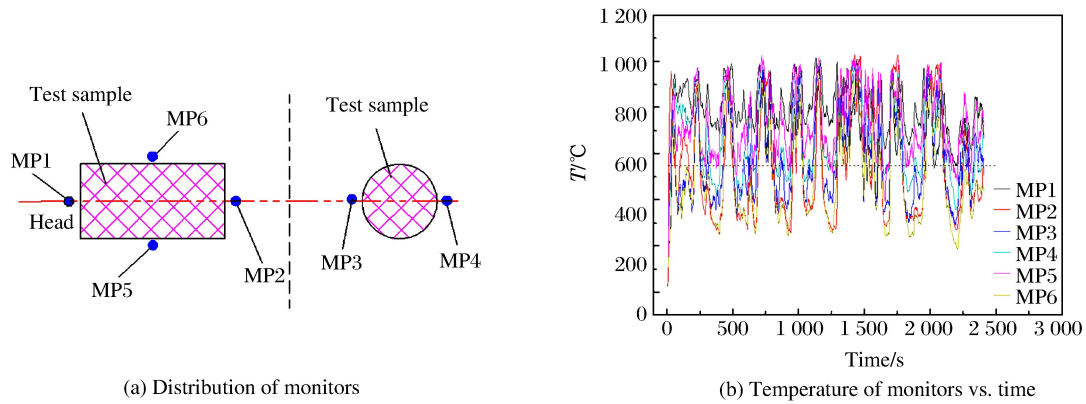


图7 包覆隔热弹衣试验件外侧火焰温度监测点分布及其温度变化

Fig.7 Distribution of monitors and their measured temperature of flame vs. time with thermal protection coat

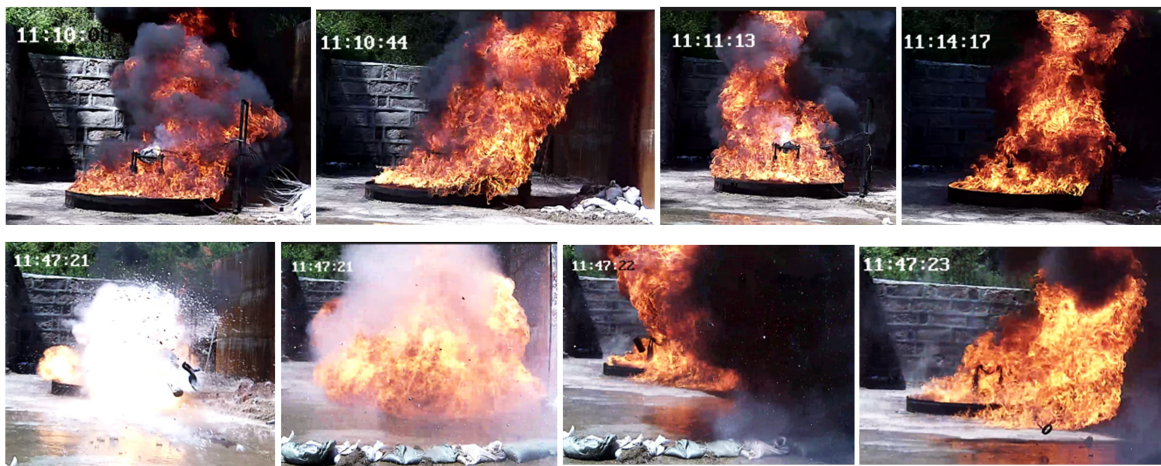


图8 试验件在油池中火烧过程序列图

Fig.8 Fast cook-off state pictures of test sample with thermal protection coat in flame

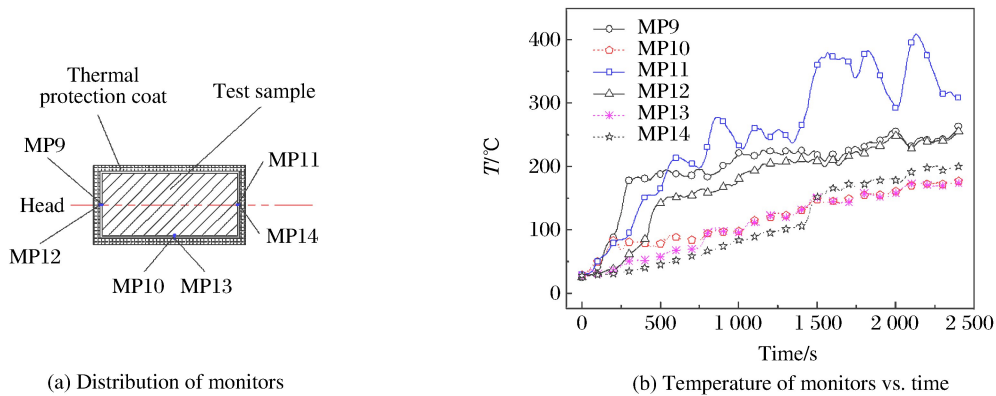


图9 隔热弹衣内表面、弹体外表面监测点分布及其温度变化

Fig.9 Distribution of monitors and their measured temperature inside thermal protection coat varying with time

火烧结束后试验件的破坏情况如图 11 所示。从图 11 可见,火烧结束后隔热弹衣被炸破,装药弹体头部压盖和螺纹压环被冲出,其中螺纹压环变形明显,压盖未找到,弹体内底部有被烧蚀痕迹,并冲出部分残药。油池保持完整,支架前、后两端护栏脱落,效应靶上未出现破片着靶痕迹。综合试验件反应及破坏情况,结合残药和试验件的破坏情况,按照 MIL-STD-2105D、AOP-39(第 3 版)和 STANAG-4439(第 3 版)中对弹药在快烤条件下装药反应等级划分标准的描述,装药弹体的反应等级可划分为爆燃反应^[2,6,11]。

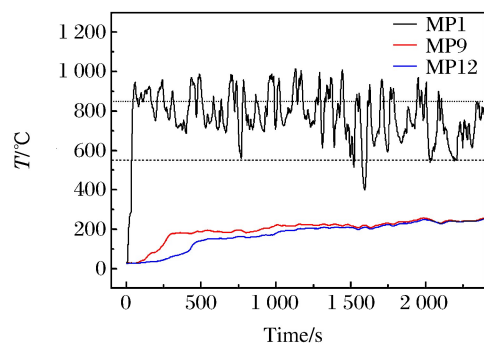


图 10 试验件尾部由外而内测点温度随时间的变化
Fig. 10 Temperature of monitors vs. time from outside to inside at the end of test sample



图 11 包覆隔热弹衣试验件破坏状态

Fig. 11 Damage state of test sample with thermal protection coat

无隔热弹衣装药试验件与包覆隔热弹衣装药试验件火烧后的反应等级均为爆燃,隔热弹衣对装药弹体的反应烈度无影响。但与无隔热弹衣装药试验件的快烤反应时间(2.55 min)相比,包覆隔热弹衣装药试验件的反应时间延迟至 34.67 min,有效延迟了装药热点火反应时间,可为救援处置赢取时间。由于火烧试验场地周围遮挡不闭合,导致火焰温度受风等自然环境的影响,使两发试验均存在火焰温度低于 550 °C 的情况,后续将通过改善试验条件,进一步深入研究隔热弹衣对弹体装药反应延迟时间的影响。

3 结 论

采用烤燃试验方法研究了隔热弹衣对装药弹体反应等级及反应延迟时间的影响。研究发现,无隔热弹衣装药试验件与包覆隔热弹衣装药试验件火烧后的反应烈度一致,反应等级均为爆燃,隔热弹衣对装药弹体的反应烈度无影响。与无隔热弹衣装药试验件快烤反应时间相比,隔热弹衣延迟弹体装药点火时间约 32 min,隔热弹衣热防护效果明显,有效延迟了装药热点火反应时间,可为救援处置赢取时间。利用空气间隙对装药弹体的热防护作用,在隔热弹衣与装药弹体之间预留一定的空气间隙,可增加隔热弹衣的热防护效果,延迟装药弹体的热点火时间。

参考文献:

- [1] 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 R, FENG C G, CHEN L. Cook-off test of ammunition [J]. Initiators and Pyrotechnics, 2002(4): 37-39.
- [2] Guidance on the assessment and development of insensitive munitions (IM): AOP-39: Edition 3 [S]. Allied Ordnance Publication, 2010.
- [3] WALLS T. General purpose bomb fast cook-off mitigation techniques [C]//Insensitve Munitions & Energetic Materials Technology Symposium. Germany, Munich, 2010.
- [4] KELLEY S, CENTER A A, DIRECTORATE A. Venting techniques for penetrator warheads [C]//Insensitve

- Munitions & Energetic Materials Technology Symposium, Munich, Germany, 2010.
- [5] DELRIEU L, RÉGNAUT S, NOUGUEZ B. New French IM 500 lb bombs [C]//Insensitive Munitions & Energetic Materials Symposium, Munich, Germany, 2010.
- [6] Hazard assessment tests for non-nuclear munitions (AMSC N6037): MIL-STD-2105D [S]. 2011.
- [7] DELRIEU L, RÉGNAUT S, NOUGUEZ B. New French IM GP bombs development update [C]//Insensitive Munitions & Energetic Materials Symposium, 2012.
- [8] 钱立新, 梁斌, 牛公杰. 不敏感弹药安全要求及设计技术 [C]//2014年(第六届)含能材料与钝感弹药技术研讨会. 四川成都, 2014.
- QIAN L X, LIANG B, NIU G J. The requirements of insensitive munitions and design techniques [C]//Energetic Materials & Insensitive Munitions Symposium, Chengdu, Sichuan, 2014.
- [9] 梁斌, 钱立新, 牛公杰. 常规弹药热缓解技术研究初步分析 [C]//2014年(第六届)含能材料与钝感弹药技术研讨会. 四川成都, 2014.
- LIANG B, QIAN L X, NIU G J. Review of mitigation for pressure and thermal threats using devices [C]//Energetic Materials & Insensitive Munitions Symposium, Chengdu, Sichuan, 2014.
- [10] 牛公杰, 钱立新, 梁斌, 等. 端部具有压力缓解结构的弹体装药快烤试验研究 [C]//2016年(第七届)含能材料与钝感弹药技术研讨会. 海南海口, 2016.
- NIU G J, QIAN L X, LIANG B, et al. Experimental study on the fast cook-off of ammunition with pressure mitigation structure at head [C]//Energetic Materials & Insensitive Munitions Symposium, Haikou, Hainan, 2016.
- [11] Policy for introduction and assessment of insensitive munitions (IM): STANAG 4439: Edition 3 [S]. NATO Standardization Agency, 2010.

Influence of Thermal Protection Coat on the Reaction of Explosives in Projectile

WANG Hongbo¹, NIU Gongjie¹, QIAN Lixin¹, WEI Xueting¹,
LU Yonggang¹, LU Zhonghua², ZHANG Zhongli¹, ZHANG He³

(1. *Institute of System Engineering, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621999, China;*

2. *Institute of Chemical Materials, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621999, China;*

3. *Inner-Mongolia Synthetic Chemical Research Institute, Hohhot 010010, China)*

Abstract: In this work, we researched the influence of a kind of thermal protection coat on the reaction of explosives in projectile by fast cook-off test. Based on the comparison of the reaction state of the test sample with and without the thermal protection coat, the results show that the thermal protection coat had little influence on the test sample's reaction intensity, and delayed the explosives' ignition reaction time by 32 min. The thermal protection coat can obviously win more time for the ammunition succor in fire accidents. Furthermore, the protective effect of the thermal protection coat is related with its own heat-conducting property and the airy space between the coat and the sample protected.

Keywords: explosive; thermal protection coat; cook-off test; reaction intensity