

文章编号:1006-9941(2023)10-1035-06

初始自由空腔体积对PBX-3炸药慢烤反应烈度的影响

胡平超¹,李涛¹,刘仓理²,傅华¹,薛洪¹,胡顺治¹

(1. 中国工程物理研究院流体物理研究所, 四川 绵阳 621999; 2. 中国工程物理研究院, 四川 绵阳 621999)

摘要: 为了认识初始自由空腔对约束奥克托今(HMX)基PBX-3炸药慢烤反应烈度的影响,以圣地亚热点火(SITI)实验装置为参考,设计了初始自由空腔体积率分别为1.0%和7.4%的弱约束慢烤实验装置。在相同的温升速率下开展了约束HMX基PBX-3炸药慢烤实验,通过小尺寸K型热电偶测量炸药中心平面不同位置以及壳体表面的温度变化历程,采用耐高温光子多普勒测速探头测量炸药热爆炸后壳体的运动速度,并在慢烤箱中回收实验装置残骸。结果表明:在相同的壳体约束强度和加温条件下,2种不同初始自由空腔体积率的约束PBX-3炸药均在中心区域首先发生点火反应;初始自由空腔体积率为1.0%时,热爆炸时刻壳体表面的温度更高,炸药整体温度更高,炸药点火反应后壳体加速更快、速度更高,实验装置残骸碎片更小,反应烈度更高。分析认为:初始自由空腔体积率为1.0%时,热爆炸前炸药受到的应力更大,炸药损伤更严重;炸药中心点火反应后,更大的热应力使得炸药点火反应产生的气体在中心聚集形成更高的压力,炸药燃烧速率更大,燃烧产生的高温气体更容易进入微裂纹,形成更强的对流燃烧,导致压力增长速率更快,炸药反应更剧烈。

关键词: 自由空腔体积;反应烈度;热爆炸;慢烤实验;炸药

中图分类号: TJ55

文献标志码: A

DOI:10.11943/CJEM2023007

0 引言

武器弹药在运输、贮存、使用等环境下可能遭遇火灾事故,对人员、建筑物、武器平台等造成不同程度损伤,弹药热安全性是安全弹药的重点研究方向之一^[1-5]。快烤场景下,一般在装药表面发生点火反应,反应烈度往往较低;慢烤场景下,一般在装药内部发生点火反应,反应烈度往往较高。HMX是一种常用的二代含能材料,在各类战斗部装药中得到广泛应用。对于不同的弹药装药,自由空腔体积可能不同,研究自由空腔对结构装药慢烤反应烈度的影响,分析认识自由空腔对炸药热刺激反应烈度影响的机理,对弹药装药的热安全性评估及设计具有重要的意义。

国内外在炸药热刺激反应烈度相关的热损伤、点

火反应演化外以及工程因素影响等方面已开展了大量研究工作。Parker等^[6]通过显微镜观察了自由状态和径向约束状态PBX-9501炸药在高温下的热损伤,发现自由状态下热损伤以孔洞为主,约束状态热损伤除孔洞外,还有因应力作用引起的炸药晶体内部裂纹,其损伤更严重。Smilowitz等^[7-9]采用质子辐照、动态X射线等诊断技术对约束炸药慢烤点火后的密度演变过程进行了拍摄,获得了炸药点火位置、点火初期燃烧速率以及点火反应后在微裂纹中形成对流燃烧的物理图像,分析了炸药热膨胀系数、粘接剂热稳定性等对慢烤点火位置有一定影响,进一步影响反应烈度。TAPPAN等^[10]研究认识了压力会延缓HMX的热致相变进程,郭伟等^[11]通过加速老化后的PBX-6炸药烤燃实验,认识了加速老化引起炸药密度减小、孔穴度增大、热稳定降低,导致炸药在快烤和慢烤下的烤燃时间缩短、点火温度降低;Wardell等^[12]通过缩比热爆炸(STEX)实验认识了初始空腔对约束PBX-9501、LX-04炸药慢烤点火反应烈度的影响不同,智小琦等^[13-16]通过不同状态约束RDX基炸药的慢烤实验,获得了炸药密度、温升速率、缓释结构对反应烈度的影响规律,认识了一定范

收稿日期:2023-01-03;修回日期:2023-03-20

网络出版日期:2023-06-26

作者简介:胡平超(1985-),男,高级工程师,主要从事炸药安全性研究。e-mail: zunyihupc@163.com

通信联系人:傅华(1978-),男,研究员,主要从事炸药安全性研究。e-mail: fmyfuhua@163.com

引用本文:胡平超,李涛,刘仓理,等.初始自由空腔体积对PBX-3炸药慢烤反应烈度的影响[J].含能材料,2023,31(10):1035-1040.

HU Ping-chao, LI Tao, LIU Cang-li, et al. Influence of Initial Free Cavity Volume on the Reaction Violence of PBX-3 in Slow Cook-off[J]. Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao), 2023, 31(10):1035-1040.

围内的自由空间显著增加炸药的反应烈度。Maienschein等^[17]通过HMX基PBX炸药在高温高压下的燃速试验,认识了炸药燃烧速率随压力增加而增大,HMX相变后炸药燃烧速率显著增大;Holmes等^[18]通过不同预应力作用下的PBX-9501炸药中心人为点火实验,认识了炸药点火反应后的反应烈度随预应力增大而增加;Berghout等^[19]基于损伤PBX-9501炸药的燃烧特性实验,认识了炸药燃烧气体进入裂纹的临界压力随裂纹宽度减小而增大。由此可见,热损伤、相变、应力、点火位置等多种因素对炸药慢烤反应烈度均有重要影响,现有研究主要通过实验装置残骸判断反应烈度,对其中的机制分析侧重于单一影响因素。

为此,本研究参考国外SITI实验装置^[20],设计了初始自由空腔体积率(空腔体积与炸药体积之比)分别为7.4%和1.0%的弱约束实验装置,并针对HMX基PBX-3炸药开展了慢烤实验,测量了炸药内部不同位置的温度演变历程,利用耐高温多普勒速度测量技术(PDV)获得了炸药点火后壳体的膨胀速度历程,回收了实验装置残骸,分析了初始自由空腔影响炸药反应烈度的原因,可为炸药装药慢烤热响应数值计算、热安全性评估及设计提供参考。

1 慢烤实验

1.1 实验装置

实验装置见图1所示,主要由壳体、PBX-3炸药以及螺栓等3部分组成。壳体为2A12,外径 $\Phi 31.4$ mm,内径 $\Phi 25$ mm,厚度3.2 mm,由上下2个独立的装药腔体通过4个M6的螺栓连接形成。PBX-3炸药样品由2个直径为 $\Phi 25$ mm、厚度为10 mm的药柱相叠加,炸药中HMX含量约为90%,密度为 $1.85 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,约为最大理论密度的98.5%。在含有初始空腔的实验装置中,2个装药腔体的空腔尺寸均为 $\Phi 20 \text{ mm}\times 1 \text{ mm}$,为HMX在高温下的热致相变提供体积供膨胀空间。由于2个药柱间安装有小尺寸K型热电偶,炸药与约束壳体间存在装配间隙,2种状态下实际初始自由空腔体积率分别约为7.4%和1.0%。

1.2 实验仪器

慢烤实验在高温烘箱中进行,其内部空腔尺寸为 $300 \text{ mm}\times 300 \text{ mm}\times 400 \text{ mm}$,腔体四周为保温棉,采用热风对流循环方式使腔体内部温度基本均匀,最大温升速率可达 $10 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$,最高温度可达 $300 \text{ }^\circ\text{C}$,控温精度为 $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ 。采用截面尺寸为 $0.25 \text{ mm}\times 0.15 \text{ mm}$

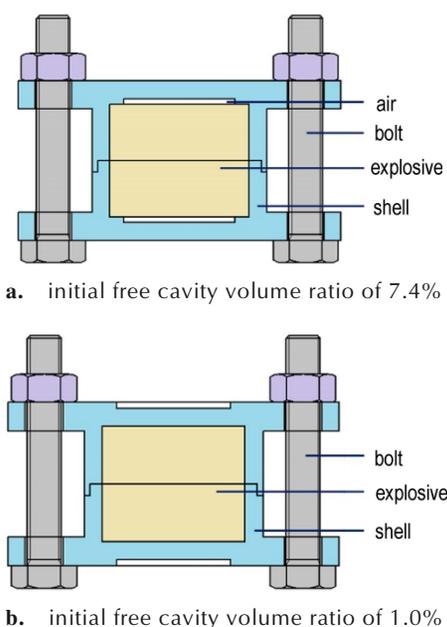


图1 慢烤实验装置结构示意图

Fig.1 Structural diagram of slow cook-off test setups

的K型热电偶测量炸药内部以及约束壳体表面的温度,热电偶的测量温度范围为 $0\sim 300 \text{ }^\circ\text{C}$;采用型号为NHR-8000的无纸记录仪对温度进行采集,采样频率为 1 s^{-1} ,记录精度为 $1 \text{ }^\circ\text{C}$ 。使用耐高温PDV探头对炸药点火反应后壳体速度进行测量,其正常工作温度范围为 $0\sim 300 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

1.3 实验方法

实验前将2个药柱分别安装在2个独立的装药腔体内,然后在其中一个炸药表面安装4个K型热电偶,4个热电偶分别距炸药中心 $0, 3.2, 6.4, 9.6 \text{ mm}$,并在约束壳体外圆柱面的中心附近粘贴1个相同型号及尺寸的K型热电偶,再将2个装药腔体通过螺栓连接在一起装配完成后,将整个实验装置放入高温烘箱中,最后在距实验装置圆柱面约 30 mm 位置布置1个耐高温PDV探头,用于测量炸药点火反应后壳体的速度。慢烤实验测试布局示意图见图2所示,实验装置、热电偶、耐高温PDV探头安装完成后的实物图见图3所示。

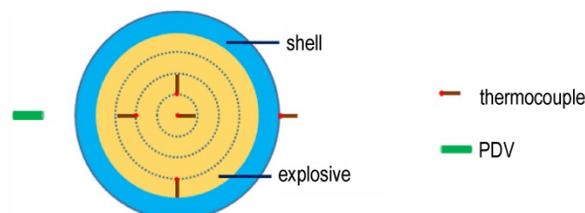


图2 慢烤实验测试布局示意图

Fig.2 Measuring layout of slow cook-off test



图3 慢烤实验装置实物照片

Fig.3 Photo of slow cook-off test setup

2发不同初始自由空腔体积率的PBX-3炸药慢烤实验的温升边界条件相同,实验时30 min将高温烘箱内的空气加热至160℃,然后保温45 min,使炸药内部温度基本处于平衡状态,再以 $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 的温升速率加热至炸药发生热爆炸反应。

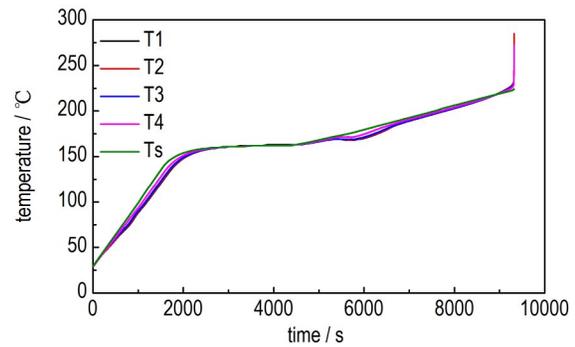
2 结果与讨论

2.1 点火响应

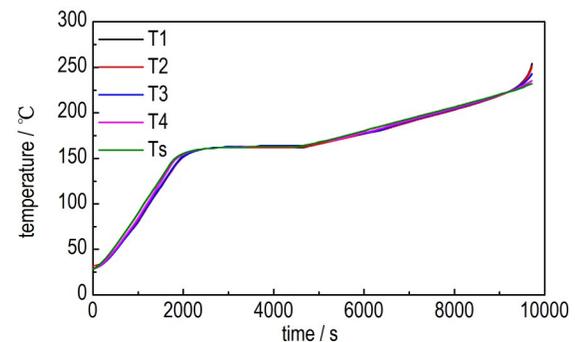
2种不同初始自由空腔体积率的慢烤实验中,安装在距炸药中心0,3.2,6.4,9.6 mm以及壳体表面的热电偶测得的温度分别记为T1、T2、T3、T4以及Ts,从加热开始直至炸药发生点火反应,各测点温度演变历程见图4所示,2种不同初始自由空腔体积率下炸药均在中心区域首先发生点火反应。

初始自由空腔体积率为7.4%时,炸药内部温度在167℃时出现显著的温度平台;当壳体温度达到217℃后,炸药内部4个测点温度均超过约约束壳体表面温度;加温时间9320 s时炸药发生点火反应,此时约束壳体表面的温度为224℃,炸药内部测点T1、T2、T3、T4的温度分别为230,229,228℃和226℃。初始自由空腔体积率为1.0%时,炸药内部未出现显著的HMX相变吸热温度平台;当壳体温度达到222℃后,炸药内部各测点温度均超过约约束壳体表面温度;加温时间9717 s时炸药发生点火反应,此时约束壳体表面的温度为232℃,炸药内部测点T1、T2、T3和T4的温度分别为254,251,243℃和235℃。

对比2种初始自由空腔体积率下炸药内部及壳体表面温度可以看出,初始自由空腔体积率为1.0%时,慢烤实验过程中炸药内部无明显的HMX相变吸热温度平台,直至炸药发生点火反应,加温时间更长,点火时刻约束壳体表面温度更高、炸药内部整体温度更高。



a. initial cavity volume ratio of 7.4%



b. initial cavity volume ratio of 1.0%

图4 不同初始空腔体积下炸药内部温度曲线

Fig.4 Temperature-time curves inside of PBX-3 explosives with different initial cavity volume ratios

2.2 壳体速度

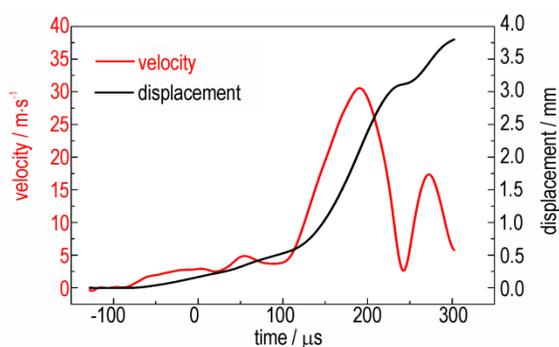
2发不同初始自由空腔体积率的慢烤实验中,PBX-3炸药点火反应后,耐高温PDV探头测得PBX-3炸药点火反应后的壳体径向膨胀速度,以及通过速度积分获得的壳体位移见图5所示。

由图5a可以看出,初始自由空腔体积率为7.4%时,炸药点火反应初期,壳体速度缓慢增长,经过数百微秒后达到最大值,约为 $30.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,然后速度突然下降到约 $0.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,而后又快速增长;当壳体速度达到最大时,壳体径向位移约为2.2 mm。由图5b可以看出,初始自由空腔体积率为1.0%时,炸药点火反应后,壳体速度呈指数型快速增长,在 $48\text{ }\mu\text{s}$ 内从0增长到 $107\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,此时PDV探头损坏;当壳体速度达到最大值时,壳体径向位移约为0.9 mm。

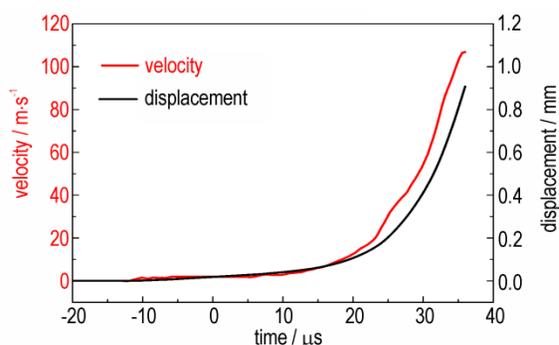
对比2种初始自由空腔体积率下PBX-3炸药反应后的壳体速度可以看出,当初始自由空腔体积率为1.0%时,壳体在更短的时间内达到更高的速度,反应烈度更高。

2.3 实验装置残骸

2发不同初始自由空腔体积率的慢烤实验中,



a. initial cavity volume ratio of 7.4%



b. initial cavity volume ratio of 1.0%

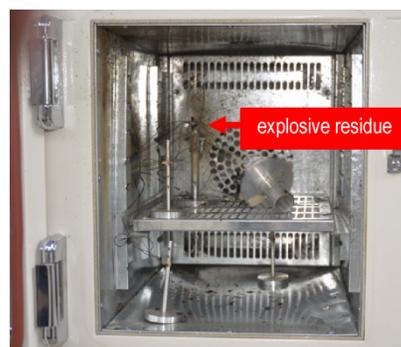
图5 不同初始自由空腔体积率下PBX-3炸药反应后的壳体速度及位移

Fig.5 Velocity and displacement-time curves of shell after explosive reaction with different initial cavity volume ratios

PBX-3炸药点火反应后高温烘箱残骸见图6所示,实验装置残骸及实验辅助件均残留高温烘箱内。初始自由空腔体积率7.4%时,高温烘箱门被炸药反应产生的压力推开,实验测试辅助件以及高温烘箱主体结构保持完整,箱内有少量黑色痕迹,局部仍残留有少量未反应的炸药粉末(图6a)。初始自由空腔体积率1.0%时,高温烘箱发生严重变形,箱壁有部分炸药喷溅燃烧的痕迹(图6b)。

2发不同初始自由空腔体积率的慢烤实验中,PBX-3炸药点火反应后实验装置残骸见图7所示。初始自由空腔体积率7.4%时,实验装置主体结构保持完整,螺栓变形较小,螺母顺利拆卸,炸药点火反应后的部分燃烧残余物仍位于装药腔体内(图7a)。初始自由空腔体积率1.0%时,实验装置解体形成8块小破片和5块大破片,其中上半部分约束壳体顶部破裂成4个破片,仍连接在螺栓上,下半部分约束壳体底部由于应力集中被剪切成一个比较完整的圆孔,直径约为 $\Phi 27$ mm,螺栓严重变形呈弯曲状态(图7b)。

对比2发实验后的高温烘箱残骸以及实验装置可



a. initial cavity volume ratio of 7.4%



b. initial cavity volume ratio of 1.0%

图6 不同初始自由空腔体积率下高温烘箱残骸
Fig.6 Wreckage of heating chamber with different initial cavity volume ratios



a. initial cavity volume ratio of 7.4%



b. initial cavity volume ratio of 1.0%

图7 不同初始空腔容积比的试验装置残骸

Fig.7 Wreckage of test setups with different initial cavity volume ratios

看出,初始自由空腔体积率1.0%时,PBX-3炸药慢烤中心点火后形成的破坏力更强。初始自由空腔体积率7.4%时,炸药点火反应后约束壳体结构基本完整;初始自由空腔体积率1.0%时,壳体严重破坏形成较小破片,点火后反应更剧烈。

2.4 结果分析

根据2发不同空腔体积率慢烤实验中炸药内部的温度历程可看出,PBX-3炸药均在中心区域首先发生点火反应。慢烤实验过程中,初始自由空腔体积率为7.4%时炸药内部在167℃出现明显的吸热温度平台,而初始自由空腔体积率为1.0%时未出现明显的吸热温度平台,这是因为7.4%的初始自由空腔体积率为HMX相变提供了体积膨胀空间,HMX在该温度下发生了较为充分的吸热相变反应;初始自由空腔体积率为1.0%时,高温下炸药热膨胀使其受到的热应力较大,延缓了HMX的相变进程,炸药内部因HMX相变吸热体现出来的温度平台就不明显。直至慢烤点火反应时刻,初始自由空腔体积率为7.4%时,慢烤加温时间为9320 s,约束壳体表面温度为224℃;初始自由空腔体积率为1.0%时,慢烤加温时间为9717 s,约束壳体表面温度为232℃;这是因为初始自由空腔体积率为1.0%时,HMX相变进程较慢,其放热分解反应引起的热量积累也就越慢,使得慢烤加温时间更长。

根据2发不同空腔体积率慢烤实验中炸药点火反应后约束壳体的径向运动速度历程可看出,炸药反应后壳体速度是一个缓慢增长的过程,经历数十微秒甚至数百微秒达到最大值,呈典型的非冲击点火反应增长特征;从实验后壳体残骸可看出,即使炸药在中心首先发生点火反应,仍呈现出非对称反应演化特征,表明炸药非冲击点火反应后的燃烧特征与正常爆轰显著不同。

根据2发不同空腔体积率慢烤实验中PBX-3炸药点火反应后约束壳体的运动速度、慢烤箱及实验装置残骸分析判断,初始自由空腔体积率为7.4%时PBX-3炸药发生爆燃反应;初始自由空腔体积率为1.0%时PBX-3炸药发生爆炸反应,其反应烈度更高。这是因为:初始自由空腔体积率为1.0%时,慢烤点火反应时刻PBX-3炸药整体温度更高,其热损伤更严重;初始自由空腔体积率为1.0%时,高温环境下炸药承受的热应力更大,炸药因应力引起的损伤更严重,炸药在中心区域首先发生点火反应后,产生的高温气体向损伤炸药的裂纹中传播;初始自由空腔体积率为1.0%时,由于PBX-3炸药点火时刻受到的应力更大,炸药点火反应初期产生的气体不能及时逸出,导致炸药中心压力急剧增加,进一步增大了炸药的燃烧速率,且燃烧产生的高温气体在更高的压力下更容易进入微裂纹,使得炸药点火后容易形成更强的对流燃烧,最终导致反应烈度更高。

3 结论

在相同约束强度和温升速率下,针对初始自由空腔体积率为7.4%和1.0%的约束HMX基PBX-3炸药开展了慢烤实验,获得了炸药内部温度历程、约束壳体膨胀速度历程以及实验装置残骸等点火响应特征数据,从壳体速度、实验装置残骸分析判断,初始自由空腔体积率对约束PBX-3炸药慢烤反应烈度具有重要影响。

(1)初始自由空腔体积率为1.0%时,点火时刻约束壳体表面温度更高、炸药整体温度更高;炸药点火反应后约束壳体破裂更严重,约束壳体速度更高、加速更快,PBX-3炸药反应烈度更高。

(2)初始自由空腔体积率为1.0%时,炸药点火反应时整体温度更高,其热损伤更严重;慢烤高温下炸药承受的热应力更大,炸药因应力导致的损伤更严重;炸药中心区域点火反应产生的高温气体在较大的应力作用下聚集形成更高的压力,导致炸药燃烧速率增加、高温气体进入微裂纹形成更强的对流燃烧,炸药点火反应后压力增长速率更快;炸药点火反应时刻的损伤更严重,以及更大应力作用下的中心区域点火反应,可能是慢烤下初始自由空腔体积率为1.0%的约束PBX-3炸药发生更高反应烈度的原因。

参考文献:

- [1] 田勇,李敬明.弹药安全的新发展——安全弹药刍议[J].含能材料,2017,25(2):91-93.
TIAN Yong, LI Jing-ming. New development of ammunition safety: robust munitions [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2017, 25(2): 91-93.
- [2] 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.
FAN Shi-feng, DONG Ping, LI Xin, et al. Research progress in the safety of foreign naval ammunition [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2017, 40(2): 101-106.
- [3] 李冠峰.弹药安全上舰设计分析[J].舰船科学技术,2022,44(2):166-169.
LI Guan-feng. Design analysis about ammunition boarding safety[J]. *SHIP SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 2022, 44(2): 166-169.
- [4] 冯昌林,袁德.航空炸弹装药热安全性的数值模拟及实验验证[J].火炸药学报,2022,45(3):432-438.
FENG Chang-lin, YUAN De. Numerical simulation and experimental verification on thermal safety of explosive charge of aerial bomb [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2022, 45(3): 432-438.
- [5] 戴湘晖,段建,沈子楷,等.侵彻弹体慢速烤燃响应特性实验研究[J].兵工学报,2020,41(2):291-297.
DAI Xiang-hui, DUAN Jian, SHEN Zi-kai, et al. Experiment of slow cook-off response characteristics of penetrator [J]. *ACTA ARMAMENTARII*, 2020, 41(2): 291-297.

- [6] PARKER G R, PETERSON P D, ASAY B W, et al. Examination of morphological changes that affect gas permeation through thermally damaged explosives[J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2004, 29(5): 274-281.
- [7] SMILOWITZ L, HENSON B F, ROMERO J J, et al. The evolution of solid density within a thermal explosion II. Dynamic proton radiography of cracking and solid consumption by burning[J]. *Journal of Applied Physics*, 2012, 111(10):103516.
- [8] SMILOWITZ L, HENSON B F, ROMERO J J, et al. Thermal decomposition of energetic materials viewed via dynamic X-ray radiography [J]. *APPLIED PHYSICS LETTERS*, 2014 (104): 024107, 1-4.
- [9] TRINGE J W, GLASCOE E A, MCCLELLAND M A, et al. Pre-ignition confinement and deflagration violence in LX-10 and PBX 9501 [J]. *Journal of Applied Physics*, 2014, 16(5): 054903.
- [10] TAPPAN A S, RENLUND A M, and Miller J C. LDRD Final report: raman spectroscopic measurements to monitor the HMX β - δ phase transition[R]. SAND2000-2927, 2000.
- [11] 郭伟, 贾路川, 王浩旭, 等. 加速老化 PBX-6 炸药的烤燃实验研究[J]. *火炸药学报*, 2022, 45(3): 315-322.
GUO Wei, JIA Lu-chuan, WANG Hao-xu, et al. Experimental research on cook-off test of accelerated aging PBX-6 explosive [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2022, 45 (3): 315-322.
- [12] WARDELL, J F, MAIENSCHIN, J L. Scaled thermal explosion experiment[R]. UCRL-JC-144614, 2002.
- [13] 王洪伟, 智小琦, 郝春杰, 等. 升温速率对限定条件下烤燃弹热起爆临界温度的影响[J]. *含能材料*, 2016, 24(4): 380-385.
WANG Hong-wei, ZHI Xiao-qi, HAO Chu-jie, et al. Effect of heating rate on the critical temperature of thermal initiation of cook-off bomb in defined conditions[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2016, 24(4): 380-385.
- [14] 徐瑞, 智小琦, 王帅. 缓释结构对 B 炸药烤燃响应烈度的影响[J]. *高压物理学报*, 2021, 35(3): 035201.
XU Rui, ZHI Xiao-qi, WANG Shuai. Influence of venting structure on the cook-off response intensity of composition B[J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 2021, 35(3): 035201.
- [15] 于永利, 智小琦, 范兴华, 等. 自由空间对炸药慢烤响应特性影响的研究[J]. *科学技术与工程*, 2015, 15(5): 280-283.
YU Yong-li, ZHI Xiao-qi, FAN Xing-hua, et al. The research of free-space influence on response characteristics of explosive on slow cook-off condition [J]. *Science Technology and Engineering*, 2015, 15(5): 280-283.
- [16] ZHI Xiao-qi, HU Shuang-qi, LI Juan-juan, et al. RDX-based booster explosive response character under slow cook-off conditions[J]. *Journal of Energetic Materials*, 2011, 29(2): 75-87.
- [17] MAIENSCHIN J L, WARDELL J F. Deflagration behavior of HMX-based explosives at high temperatures and pressures[R]. UCRL-CONF-201132, 2003.
- [18] HOLMES M D, PARKER G R, BROILO R M, et al. The effect of quasi-static mechanical pre-load on deflagration violence in PBX 9501 [C]//AIP Conference Proceedings, 2020, 100012.
- [19] BERGHOUT H L, SON S F, SKIDMORE C B, et al. Combustion of damaged PBX-9501 explosive [J]. *Thermochemica Acta*, 2002, 384: 261-277.
- [20] KANESHIGE M J, RENLUND A M, SCHMITT R G, et al. Cook-off experiments for model validation at sandia national laboratories [C]//Proceeding of the 12th International Detonation Symposium. San Diego: Office of Naval Research, 2002: 1181-1190.

Influence of Initial Free Cavity Volume on the Reaction Violence of PBX-3 in Slow Cook-off

HU Ping-chao¹, LI Tao¹, LIU Cang-li², FU Hua¹, XUE Hong¹, HU Shun-zhi¹

(1. Institute of Fluid Physics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621999, China; 2. China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621999, China)

Abstract: In order to understand the effect of initial free cavity on the violence of confined octogen (HMX)-based PBX-3 in slow cook-off, the weak restricted test setup was designed with initial free cavity volume ratios of 1.0% and 7.4%, respectively, referring to Sandia instrumented thermal ignition (SITI). The confined HMX-based PBX-3 explosives were heated at the same rate in slow cook-off tests. The temperatures of different locations at the center plane of explosive and shell surface were acquired using small-sized K type thermocouples, the shell velocity after thermal explosion was measured using the heat-resistant probe of photonic-Doppler-velocimeter (PDV), and the wreckage of test setup was recycled in the slow cook-off chamber. The results show that the confined PBX-3 explosives are ignited in the center region for the same restricted strength and heating process, no matter with the initial free cavity volume. When the initial free cavity volume ratio is 1.0%, the shell surface temperature and the overall temperature of the explosive are higher when thermal explosion occurs, the shell accelerates faster and the maximum velocity is higher after thermal explosion, the wreckage fragments of test setup are smaller, and the reaction violence is higher. It is analyzed when the initial free cavity volume ratio is 1.0%, the stress of explosive is larger before thermal explosion, resulting in more serious damage. When thermal ignition occurs at the center of the explosive, the larger thermal stress causes a higher pressure induced by the gas accumulation, and the burning rate of explosive is higher. The high-temperature gas generated by the combustion is easier to enter the microcracks, resulting in stronger convective burning, faster pressure growth rate and more violent reaction.

Key words: free cavity volume; reaction violence; thermal explosion; slow cook-off test; explosive

CLC number: TJ55

Document code: A

DOI: 10.11943/CJEM2023007

(责编:姜梅)