

两种以奥克托今为基传爆药的起爆性能

席 鹏 罗妮娜 赵 娟

(西安近代化学研究所,西安 710065)

摘 要 为研究粒度对传爆药起爆性能的影响,对两种不同粒度奥克托今(HMX)为基的浇注传爆药开展冲击波起爆试验,采用锰铜压力传感器测试了起爆过程中的压力变化。结果表明:在密度和固相含量相同的条件下,细粒度 HMX 为基的 PBX-5C 传爆药冲击波起爆临界压力为 8.24GPa,低于粗粒度 HMX 为基的 PBX-4C 传爆药;在 9.91GPa 起爆压力下,PBX-4C 爆轰增长距离为 13.5~18.5mm,PBX-5C 爆轰增长距离为 6~10mm;爆轰增长距离随着起爆压力的增加而逐渐减小;在各自临界起爆压力下,PBX-4C 点火距离小于 PBX-5C;在起爆压力相同时,细粒度传爆药呈现爆轰增长时间短,爆轰成长距离较小的特点。

关键词 材料科学,浇注炸药,冲击起爆,粒度,起爆过程

中图分类号 TJ450.4

文献标识码 A

文章编号:1006-3536(2021)05-0159-03

DOI:10.19817/j.cnki.issn 1006-3536.2021.05.036

Study on initiating property of two HMX-based booster explosive

Xi Peng Luo Nina Zhao Juan

(Xi'an Modern Chemistry Research Institute,Xi'an 710065)

Abstract In order to investigate the particle size's influence on initiation of the booster explosives,the shock wave initiation experiment were did on the two booster explosives with different HMX particles,and the manganin pressure resistance sensor were used to test the pressure variance of the initiation.Results showed that:under the same density and solid content,the PBX-5C's shock wave critical initiation pressure was 8.24GPa,which was lower than that of the PBX-4C whose shock wave critical initiation pressure was 9.87GPa.When the incoming pressure was 9.91GPa,the detonation-induced distance of PBX-4C was 13.5~18.5mm,while that of the PBX-5C was 6~10mm.It was found that with the increasing of incoming pressure,the detonation-induced distance decreased.Under their respective critical initiation pressure,the ignition distance of PBX-4C was less than that of PBX-5C.In conclusion,with the same incoming pressure,booster explosive with the fine HMX particle had shorter detonation time and less detonation distance compared to booster explosive with coarse particle.

Key words material science,extrusion cast explosive,shock initiation, particle size,initiating process

随着精确打击和弹药威力的发展,弹药的钝感化已经成为提高武器系统使用安全性和抗打击能力的主要途径^[1]。钝感弹药的发展对传爆药提出新的要求:钝感特性与主炸药相匹配;足够大的输出能量,稳定起爆不敏感主装药^[2]。浇注型高聚物粘结炸药(浇注 PBX)是一种聚合物基复合材料,具有优异的不敏感性能,能够满足弹药的钝感要求。钝感化要求也不是感度越低越好,过低的冲击波感度会降低传爆药的起爆可靠性^[3],常用做法是采用表面包覆和主炸药粒度选择,控制传爆药的冲击波感度,

使其既能满足钝感炸药对冲击波感度的不敏感要求,又能够被引信可靠起爆^[4]。众多学者^[5-7]研究压装 PBX 粒度与冲击波感度的关系,认为粒度越高,冲击波感度越敏感,并用炸药颗粒之间空穴的尺寸和孔隙率来解释大颗粒易于点火现象。李玉斌等^[8]在进行高品质奥克托今(HMX)冲击波感度试验中,发现高品质 HMX 冲击波感度随粒度的增加而下降,并用缺陷和比表面积差异做出解释。HMX 作为一种成熟的高能单质炸药,已经广泛应用到传爆药和主装药领域,是保证传爆药输出能量的有效途

收稿日期:2019-11-26;修回日期:2021-02-21

作者简介:席鹏(1985-),男,硕士,高级工程师,主要从事混合炸药配方及工艺研究,E-mail:xipeng-57@163.com。

径,然而对于浇注 PBX 体系中 HMX 粒度与冲击波感度的报道较少。

从传递爆轰的角度考虑,传爆药不仅需要合适的冲击波感度,还要求点火后稳定增长形成爆轰波。本研究主要考察两种不同粒度 HMX 为基的浇注传爆药的冲击起爆性能,对浇注传爆药设计具有指导意义。

1 试验部分

1.1 原材料

端羟基聚丁二烯粘结剂(NJ-C)、SY 助剂、聚黑炸药(JH-14, $\varphi 20\text{mm} \times 20\text{mm}$, $\varphi 40\text{mm} \times 50\text{mm}$),西安近代化学研究所;固化剂异佛尔酮二异氰酸酯(IPDI,分析纯),成都艾科达化学试剂有限公司;主炸药,奥克托今(HMX),4 类($D_{50}=680\mu\text{m}$)、5 类($D_{50}=12\mu\text{m}$),国营第八〇五厂。

1.2 样品的制备

将 HMX、NJ-C 和 SY 助剂在捏合机($2 \times 1\text{L}$,西安拓普有限公司)中真空捏合(60°C , -0.090MPa)1h,加入 IPDI,真空捏合 20min;将捏合成型后的药浆加压浇注到专用模具中,固化 6d;从模具中取出坯样,修整成直径 40mm,不同厚度的药柱或药片。传爆药代号与配比见表 1。

表 1 传爆药代号与配比

代号	配比
PBX-4C	88% 4 类 HMX/11.4NJ-C/0.6% IPDI 外加 5%助剂
PBX-5C	88% 5 类 HMX/11.4NJ-C/0.6% IPDI 外加 15%助剂

1.3 爆轰增长性能测试

参照 GJB 772A—97 方法 605.1 试验,测试药柱($\varphi 40\text{mm} \times 90\text{mm}$) 在聚黑-14(JH-14)炸药爆轰作用下的冲击波隔板厚度,隔板为 $\varphi 40\text{mm}$ 的 2A12 铝隔板;经过一定厚度的铝隔板衰减后起爆被测传爆药。

采用锰铜测压技术测试传爆药内不同界面厚度处的爆炸输出压力,试验装置如图 1 所示。在传爆药内不同界面厚度处内置锰铜压力计;锰铜压力计连接脉冲恒流源和示波器。利用锰铜合金的电阻与所受冲击波压力之间存在线性关系的特征,通过恒定电流,使压力计的电阻随冲击波压力的变化关系转化为电压和冲击波压力关系,计算相应位置的冲击波压力。

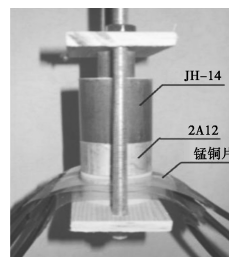


图 1 锰铜测压试验装置

2 结果与讨论

2.1 两型传爆药柱的冲击波感度分析

对两型传爆药柱进行冲击波感度测试,结果见表 2。

表 2 HMX 粒度对冲击波感度的影响

代号	密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	隔板厚度/mm	临界起爆压力/GPa
PBX-4C	1.636	40.53	9.87
PBX-5C	1.636	46.48	8.24

有文献表明^[5-6],压装 PBX 炸药中主炸粒度越细,冲击波感度越低,临界起爆压力越高。与文献报道不同,表 2 结果表明,在相同固含量和相同密度的条件下,采用细粒度制备的 PBX-5C 传爆药,临界起爆隔板厚度增加 5.95mm,临界起爆压力下降 1.63GPa。分析认为,压装 PBX 炸药中,粘结剂等惰性组分含量较低,无法完全包覆主炸药,其冲击波感度主要是由炸药的孔隙率和颗粒大小决定。颗粒越小,形成热点的尺寸越小,热损失加剧,热点温度降低,因此需要较高的压力来起爆。本实验采用的是浇注成型传爆药,其粘结剂含量达到 10% 以上。在浇注工艺中,粘结剂除了作为连续相载体粘结主炸药颗粒外,还对主炸药颗粒起到包覆降低感度的作用。对于大颗粒的 HMX 而言,其比表面积较低,粘结剂能够在表面均匀涂膜。在粘结剂总量不变时,细粒度 HMX 在理论上的涂覆层厚度远小于粗粒度传爆药。此外,细粒度 HMX 在工艺过程中易形成团聚^[9],不利于粘结剂在其表面均匀涂覆,也是其涂覆效果较差的原因之一。因此认为,粘结剂的表面包覆效果是细粒度 HMX 冲击波感度高于粗粒度 HMX 的主要原因之一。

2.2 两种传爆药柱的爆轰增长距离分析

测试两种传爆药在不同起爆压力下的爆轰增长距离,结果见图 2。

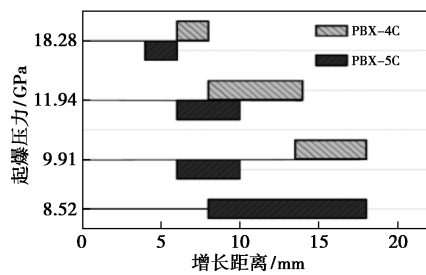


图 2 两种传爆药在不同起爆压力下的爆轰增长距离分析图

PBX-4C 传爆药临界压力 9.87GPa, 在起爆压力 8.52GPa 时没有起爆。从图 2 可以看出, 在大于临界起爆压力后, PBX-4C 传爆药爆轰增长距离随着起爆压力的增加而逐渐减小。锰铜压力计间距和数量决定了测试的精度, 在有限数据下, 很难将爆轰增长距离明确到较小的范围, 从而测得 PBX-4C 在 9.91GPa 起爆压力下爆轰增长距离为 13.5~18.5mm, PBX-5C 传爆药在起爆压力 9.91GPa 和 11.94GPa 条件下测得爆轰增长距离均是 6~10mm, 但是对比起爆压力 8.52GPa 和 18.28GPa 时的增长距离, PBX-5C 传爆药爆轰增长距离随着起爆压力的增加而减小。在 9.91GPa 和 18.28GPa 条件下, PBX-5C 传爆药爆轰增长距离小于 PBX-4C 传爆药。

2.3 两种传爆药点火及增长状态分析

起爆压力在 8.52GPa 和 9.91GPa 的条件下, 两种传爆药的点火及爆轰增长状态趋势见图 3 和表 3。

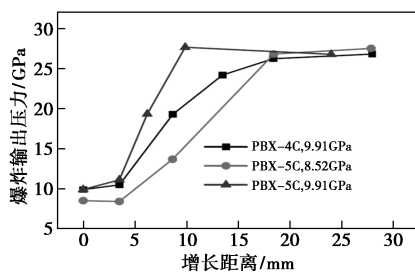


图 3 两种传爆药在不同起爆压力下的点火及爆轰增长趋势图

表 3 爆轰增长距离和增长时间

条件	增长距离/mm	增长时间/ μ s	爆速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
PBX-5C, 8.52GPa	3.5~18.5	3.18	4717
PBX-4C, 9.91GPa	3.5~18.5	2.61	5747
PBX-5C, 9.91GPa	3.0~9.8	1.25	5440
	9.8~23.4	1.63	8344

从图 3 可以看出, 在起爆压力略高于各自临界

起爆压力条件下, 细粒度 HMX 组成的传爆药 (PBX-5C, 8.52GPa) 在 3.5mm 处冲击波压力略低于临界起爆压力, 未发现点火现象, 在 8.5mm 处, 压力显著增加, 点火并增长; 在 18.5mm 处, 冲击波压力已经达到最大输出压力, 即传爆药的爆压 27.2GPa。粗粒度 HMX 组成的 PBX-4C 传爆药在 3.5mm 处压力略高于临界起爆压力, 点火已经发生, 在 3.5~18.5mm 区间内压力持续增加, 并在 18.5mm 处达到最大输出压力。在临界起爆压力条件下, 粗颗粒传爆药点火距离比细颗粒短, 但是由于增长区域存在一定的重合, 增长距离无法比较。再对比 9.91GPa 起爆压力下两种传爆药的点火及增长情况, 细粒度 HMX 组成的 PBX-5C 传爆药在 3.5mm 时压力已经显著增长, 点火距离小于 3.5mm, 点火后压力迅速增长, 在 9.8mm 处达到稳定爆轰, 爆轰增长距离显著低于粗粒度 PBX-4C 传爆药。

从表 3 可见, 在接近各自临界起爆压力下, PBX-4C 传爆药爆轰增长时间低于 PBX-5C, 爆轰增长速度较快, 但是在 9.91GPa 条件下, PBX-5C 传爆药从点火到稳定爆轰的时间小于 PBX-4C 传爆药, 并在 9.8mm 处实现稳定爆轰, 爆速 8344m/s。分析认为, 在临界压力条件下, 细粒度传爆药因为表面包覆不均匀, 在涂覆的薄弱点发生点火, 因此需要的临界起爆压力较低, 点火后由于颗粒度较小, 晶体用于热传递的能量较少, 因此爆轰增长慢于粗粒度 HMX; 而在相同压力条件下, 细粒度与粗粒度 HMX 所接受的总能量相同, 细粒度产生的热点较多, 点火速度快; 在爆轰传播过程中, 由于细粒度比表面积大, 体积燃烧速率加快, 化学反应区变窄。此外, 细粒度 HMX 涂膜厚度越薄, 其用于破除钝感膜的能量损耗越低, 贡献给爆轰传递的能量比率越高。因此, 在浇注传爆药中, 细粒度 HMX 点火及爆轰增长距离短, 爆轰增长速度快。

3 结论

(1) 测试了固相含量 88% 的两种浇注 PBX 传爆药的冲击波感度, 细粒度 HMX 组成的 PBX-5C 传爆药冲击波起爆临界压力为 8.24GPa, 低于粗粒度的 PBX-4C 传爆药; 粘结剂的表面包覆效果是细粒度 HMX 冲击波感度高于粗粒度 HMX 的主要原因之一。

(下转第 165 页)