

文章编号: 1006-9941(2004)01-0026-04

# TATB、石蜡、石墨钝感作用的讨论

胡庆贤, 吕子剑

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

**摘要:** 研究 TATB、石蜡、石墨在落锤撞击试验条件下的变化及试样的撞击加速度-时间曲线, 探讨了这些钝感剂对 HMX、RDX 等炸药的钝感机理及产生不同钝感效果的原因。对一些高聚物粘结炸药落锤试验、苏珊试验的结果进行了分析讨论。

**关键词:** 物理化学; 炸药; 钝感剂; 作用机理

**中图分类号:** TQ56

**文献标识码:** A

## 1 引言

TATB、石蜡、石墨已广泛用于降低 HMX、RDX 等炸药的撞击感度、摩擦感度。但其钝感效果不同。石蜡、石墨有较好的钝感效果。对以 HMX 或 RDX 为基的炸药, 选用适当的粘结剂和少量的石蜡、石墨钝感剂可显著降低其机械感度。而仅用 TATB 作为钝感剂, 需要加入较多的 TATB, 才能取得较好的钝感效果。本文研究了 TATB、石蜡、石墨在落锤撞击、挤压应力、爆炸等作用下的物态变化, 探讨了这些物质对 HMX、RDX 的钝感机理, 并对一些高聚物粘结炸药在落锤试验、苏珊试验中表现出感度不一致的现象进行了讨论。

## 2 实验部分

### 2.1 挤压试验

(1) 取滑柱、滑柱套装配成摩擦装置, 以 5 发为一组, 选配三组。取出上滑柱, 分别将  $(30 \pm 1)$  mg TATB、石蜡、石墨倒入其中, 并使其均匀分布在下滑柱面上。然后放入上滑柱, 使之接触试样。

(2) 将装好试样的摩擦装置分别放入摩擦仪爆炸室内的待试位置, 使分离钩手柄处于右端(反时针转到底), 启动油压机, 当表压达到 4.0 MPa 时, 减压至 2.0 MPa, 将分离钩手柄扳至最低位置后再加压至 4.0 MPa, 卸压, 取出摩擦装置, 拍摄照片。将试验中被挤出滑柱套外的试样收集起来称重, 准确至 0.1 mg。

### 2.2 炸药-钝感剂撞击实验

(1) 选配击柱、击柱套、底座组成撞击装置, 以 5 发为一组。取出上击柱, 在击柱套内孔中沿径向垂直插入一薄胶片, 将击柱套内孔分为两部分空间, 分别称取  $(20 \pm 1)$  mg HMX、TATB 倒入击柱套内胶片的两边, 并使均匀分布在下击柱表面上。抽出胶片, 轻轻振动底座, 使原来在胶片两侧的两种炸药接触, 放入上击柱使其徐徐落下接触试样(将用该方法装药的试样命名为 HMX/TATB 试样, 以下同)。

(2) 将装好试样的撞击装置依次放在落锤仪的钢砧上, 使 5 kg 落锤自规定落高自由落下撞击试样, 观察试样是否发生爆炸, 拍摄试验后试样的照片。

(3) 分别用 HMX、石蜡以及 HMX、石墨重复上述试验, 拍摄试验后试样的照片。

### 2.3 试样的撞击加速度-时间曲线的测定

用安装在落锤顶部的 YJ-5 型撞击加速度计、YE5828 型电荷放大器、DAS-820M 高速数据采集和分析系统按文献[1]的方法分别测试落锤撞击石蜡、石墨、TATB 试样的撞击加速度-时间曲线图。

## 3 结果与讨论

### 3.1 试样挤压试验结果

石蜡在挤压下, 约有 72% 的试样被挤入滑柱、滑柱套间的间隙及滑柱套外, 形成薄层(试验照片略), 表明在压力作用下石蜡易发生变形, 产生流动。TATB 挤压后约有 26% ~ 49% 的试样被挤出滑柱工作面, 但不像石蜡形成薄而连续的薄层。试验中发现, TATB 在滑柱套内加压至 4.0 MPa, 卸压, 取出摩擦装置观察 TATB 试样可见, 全部试样被压成药片。若在 4.0 MPa

收稿日期: 2002-10-28; 修回日期: 2003-04-21

作者简介: 胡庆贤(1942-), 男, 研究员, 主要从事炸药机械感度研究和测试工作。

下拉分离钩, TATB 有时会从两滑柱工作面间喷出, 同时伴有清脆的声响。在压力作用下, 石墨很少 (小于 2%) 被挤出滑柱外, 表明石墨在压力作用下, 不易发生“流动”。

### 3.2 HMX/钝感剂撞击试验结果

用 5 kg 落锤自 40 cm 落高撞击 HMX/TATB 试样时, 从下击柱工作面一边的 HMX 炸药发生爆炸, 几乎全部发生了反应, 而另一边的 TATB 基本未发生反应的现象 (试验照片略) 可知, HMX 的爆炸未能引起 TATB 反应; 相同试验条件下 HMX/石墨试验后, HMX 发生了爆炸, 石墨未发生明显的变化; 在同样条件下, HMX/石蜡试样试验后未发生反应。HMX 试样上有的地方被石蜡薄层覆盖。

当 5 kg 落锤从 50 cm 落高撞击 HMX/TATB 试样时, 有些试样不仅 HMX 发生了爆炸, 也有部分 TATB 发生了反应, 击柱上只留下部分残存的 TATB 药片。上述结果表明当 HMX 发生强烈地反应时, TATB 也能被引起反应。

### 3.3 试样的撞击加速度 - 时间曲线测试结果

图 1 为落锤“空打”(落锤撞击不装试样的撞击装置)时的撞击加速度 - 时间 ( $a-t$ ) 曲线。落锤从不同的落高“空打”时,  $a-t$  曲线的峰值不同, 落锤的撞击时间大致相同, 约 330  $\mu\text{s}$  左右。图 2、3、4、5 为 5 kg 落锤从 40 cm 落高自由落下, 分别撞击石墨 (30 mg)、石蜡 (30 mg)、TATB (50 mg)、某高聚物粘结炸药 (50 mg, 试样未爆) 的  $a-t$  曲线。检查试验石蜡后的撞击装置可见, 部分试样被挤入击柱、击柱套的间隙, 有些从击柱、击柱套间的缝隙中喷出。

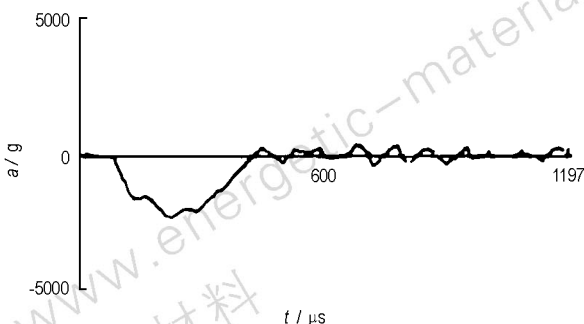


图 1 落锤空打时的撞击加速度 - 时间曲线  
Fig. 1 The curve of impacting acceleration vs. time when no sample in the set-up

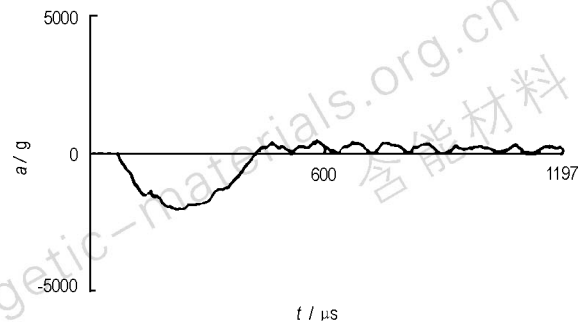


图 2 石墨的撞击加速度 - 时间曲线  
Fig. 2 The impacting acceleration vs. time curve of graphite

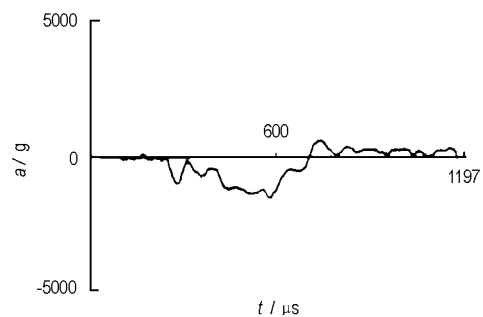


图 3 石蜡的撞击加速度 - 时间曲线  
Fig. 3 The impacting acceleration vs. time curve of wax

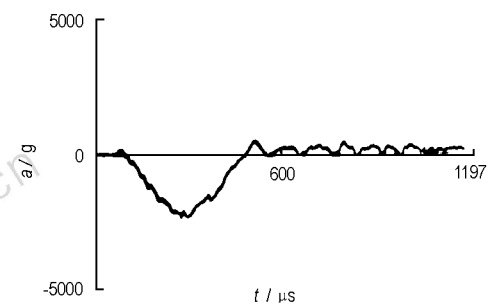


图 4 TATB 的撞击加速度 - 时间曲线  
Fig. 4 The impacting acceleration vs. time curve of TATB

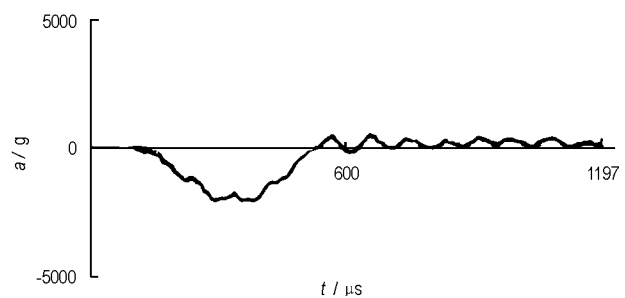


图 5 某高聚物粘结炸药的撞击加速度 - 时间曲线  
Fig. 5 The impacting acceleration vs. time curve of a selected PBX

### 3.4 讨论

(1)由图2、4、5可见,石墨、TATB、高聚物粘结炸药的 $a-t$ 曲线与落锤“空打”的结果大致相同,石蜡的 $a-t$ 曲线与落锤“空打”的结果明显不同,其落锤撞击加速度峰值明显降低,撞击时间增长至462  $\mu\text{s}$ 左右。这是由于石蜡熔点较低,在落锤撞击时试样粘滞流动,部分试样进入击柱、击柱套间的间隙,甚至喷出击柱套外,从而缓冲了落锤的撞击力,增加了落锤的撞击时间。

(2)文献报导用击柱、击柱套组成的撞击装置研究固体炸药在落锤撞击下的引爆机理,一般将炸药置于2#装置中<sup>[2,3]</sup>,在落锤撞击下,炸药可向自由空间抛出。国内用落锤仪测试炸药的撞击感度,多是由击柱、击柱套和底座组成的撞击装置<sup>[4]</sup>。试样置于击柱套内的两击柱工作面之间。受落锤撞击时,试样的运动受到击柱和击柱套的限制,试样不可能向周围空间飞散。试样颗粒仅在局部范围内受挤压,炸药中的空气泡也会受到绝热压缩,炸药颗粒之间或颗粒与杂质、撞击装置之间将发生强烈地摩擦等作用,这些都可能引起炸药中产生热点,引起试样反应。石蜡包覆在炸药颗粒的表面,改变了炸药表面的力学性质,使炸药颗粒表面的剪切区域向石蜡层转移,导致炸药中应力的均匀分布。另一方面,石蜡吸热熔化,减少了热点产生的可能性。即使热点形成,易流动的蜡在流动中能吸收其热量将其熄灭,从而阻止热点的传播。因而在以HMX、RDX为基的PBX中加少量的石蜡(按重量比加入0.01)就可以产生明显的钝感作用。若炸药配方中含有较多的石蜡,例如A-3炸药,含有9%的蜡,不仅在落锤试验中,在苏珊等试验中也表现出较为钝感。

松全才等<sup>[3]</sup>用落锤仪研究DDT抑制剂对PU-RDX在撞击作用下爆炸反应传播的影响时发现,使DDT抑制剂均匀分布在包覆RDX表面的混炼型聚氨酯(PU)中,比将相同量的DDT抑制剂和RDX制成混晶(在溶液中结晶的),再用PU包覆这种混晶,DDT抑制剂抑制高压下RDX的速燃和DDT的作用更强。表明在撞击作用下反应波的传播性质是由颗粒表层向其体相逐层传播的。石蜡包覆在炸药颗粒表面,也可以使这种反应波的传播变困难,阻止燃烧向爆炸的转变。聂福德等<sup>[6]</sup>发现,当蜡的含量一样时,蜡全包覆于造型粉表面比蜡分别包在HMX表面和造型粉表面钝感效果要好。表明蜡包覆在造型粉表面更能有效地减少热点的产生和传播,能更好地起到钝感作用。

(3)由3.2节HMX/石墨撞击试验结果可见,石墨

在HMX发生爆炸时,本身未发生明显地变化。石墨具有层状结构,是润滑剂,在以HMX、RDX为基的高聚物粘结炸药中加入一定量的石墨,可减少外力作用下炸药颗粒间以及炸药与周围介质间的摩擦,导致炸药中应力的均匀分布,并使摩擦生成的热基本上集中在石墨层中,减少了热点产生的可能性。炸药颗粒包覆一定量的石墨,当它周围的炸药发生反应时,可起到绝热屏蔽作用,减缓未反应炸药的热分解,从而阻止热点的传播,阻止炸药由燃烧转变为爆炸。与石墨一样,TATB也具有层状结构,在挤压试验中表现出较大的“流动性”,因而有一定的钝感作用,但它仅在一定程度上阻止热点的传播,当HMX等炸药反应强烈时,仍能引起TATB发生反应,因此,只有炸药中含有大量的TATB,或将TATB与石蜡、石墨作为复合钝感剂共同使用时,才能减少HMX在落锤撞击下产生热点,并阻止热点的传播,表现出明显的钝感作用。

(4)石蜡、石墨、TATB作为钝感剂使用时,只有将它们均匀地包覆在炸药颗粒的表面上,才能收到较好的钝感效果。因此,研究用钝感剂包覆炸药颗粒的技术,采用表面活性剂,控制钝感剂的颗粒度是十分必要的。

(5)比较炸药撞击感度、苏珊感度试验结果可知,以HMX、RDX为基、加少量石蜡、石墨的高聚物粘结炸药,用由击柱套、击柱和底座组成的撞击装置测其撞击感度,其爆炸概率可在20%以下,甚至为零,但苏珊感度往往较高<sup>[7]</sup>。其原因一方面由于落锤试验与苏珊试验所用试样的状态不同,落锤试验中使用的是粒状炸药而苏珊试验是用炸药柱,高聚物粘结炸药在压制成药柱时,钝感剂包覆层往往被破坏。另一方面,试样在这两种试验中所受外力作用及试样的运动情况不完全相同。在落锤试验中,试样在撞击装置中不产生明显的飞散、流动,炸药颗粒仅在局部小区域内受到强烈地挤压、摩擦等作用,只要钝感剂在颗粒表面包覆的好且有一定的厚度,就能起到有效的钝感作用。在苏珊试验中,随着苏珊弹撞靶、铝弹头裂开,试样在弹与靶板之间受到强烈地撞击、摩擦以及粘滞流动等作用,炸药之间相对运动距离大,仅靠少量的钝感剂不足以阻止热点的产生和传播。当炸药中含有大量的TATB时,由于TATB本身不易发生反应,在外力作用下易于“流动”,可缓冲外力的作用,使炸药中不易产生热点。某处HMX炸药发生反应,其周围大量的TATB在一定程度上能起到阻止反应向外传播的作用。即使是部分TATB也被引起反应,反应的激烈程度也较低,使试样

的相对释放能量减少,降低了炸药的苏珊感度。因此,含大量 TATB 的炸药其苏珊感度均较低。对这种炸药,落锤试验与苏珊试验结果是一致的,都表明炸药较钝感。

(6)研究钝感剂的钝感效果,应根据炸药的使用情况,选用合适的感度测试方法进行试验。本文讨论的是采用国内通用的以击柱、击柱套和底座组成的撞击装置,在落锤仪上进行感度试验,当撞击装置或测试方法改变时,炸药的感度排序也将发生变化。根据炸药使用的具体条件选出有效的钝感剂是十分必要的。

致谢:张艳丽参加了试验工作,特此致谢。

#### 参考文献:

- [1] 胡庆贤,吕子剑. 落锤撞击加速度的测试及讨论 [J]. 含能材料,1999,7(4):176-179.  
HU Qing-xian, Lü Zi-jian. Determination of impact acceleration in drop weight test [J]. *Hanneng Cailiao*,1999,7(4):176-179.
- [2] 松全才. 固体炸药在要械冲击作用下的引爆. 化工通讯,1974(2-3):50-67.
- [3] 松全才,魏化震. PBX 颗粒力学性质对其撞击感度影响的初步研究 [J]. 爆炸与冲击,1990,10(3):244-249.
- [4] GJB772A-97 炸药试验方法.
- [5] 金韶华,李文,松全才,等. DDT 抑制剂对 PU-RDX 在撞击作用下爆炸反应传播的影响 [J]. 含能材料,1994,2(2):26-29.  
JIN Shao-hua, LI Wen, SONG Quan-cai, et al. The influence of DDT-inhibitor upon the propagation of explosion reaction of PU-RDX under impact [J]. *Hanneng Cailiao*, 1994,2(2):26-29.
- [6] 聂福德,杨雪海,张凌,等. HMX/TATB 基 PBX 的感度与表面形态的关系探索 [J]. 火炸药学报,2001,(3):20-21.  
NIE Fu-de, YANG Xue-hai, ZHANG Ling, et al. The sensitivity and the surface characterization of HMX/TATB-based PBX [J]. *HUOZHAYAO XUEBAO*, 2001,(3):20-21.
- [7] 胡庆贤,花成. 钝感炸药在机械撞击下爆炸危险性评价 [J]. 火炸药学报,1997,(2):7-10.  
HU Qing-xian, HUA Cheng. Evaluation of the hazard of the insensitive high explosives under mechanical impact [J]. *HUOZHAYAO XUEBAO*, 1997,(2):7-10.

## Study on Desensitizing Effect of TATB, Wax and Graphite

HU Qing-xian, Lü Zi-jian

(Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang 621900, China)

**Abstract:** Desensitizing mechanism and different effects of TATB, wax and graphite on explosive sensitivity were discussed on basis of the changes of the mentioned desensitizers under the action of drop hammer impact, extrusion stress and impact acceleration-time curves. Experimental results such as drop hammer and susom test of some plastic bonded explosives (PBX) were analyzed.

**Key words:** physical chemistry; explosive; desensitizer; desensitizing mechanism