

文章编号: 1006-9941(2004)01-0020-03

可浇注固化 PBX 类含铝炸药低易损性研究

罗观, 黄辉, 张明, 关立峰, 李尚斌

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要: 采用真空振动浇注-固化技术, 制得了几种以聚合物弹性体端羟基聚丁二烯 (HTPB) 为粘结剂, 以黑索金 (RDX) 为主体炸药的含铝炸药。结果表明: 用硝基胍 (NQ) 或 3-硝基-1,2,4-三唑-5-酮 (NTO) 代替部分 RDX, 炸药的撞击感度明显降低, 其枪击、苏珊实验反应等级较低。这种低易损性的 PBX 类含铝炸药适用于一些高性能武器战斗部装药。

关键词: 材料科学; 含铝炸药; 端羟基聚丁二烯 (HTPB); 撞击感度

中图分类号: TQ56

文献标识码: A

1 引言

低易损混合炸药是一类既可满足弹药能量要求, 又可提高弹药在战场上生存能力的炸药。它是针对近年来弹药在服役期间的生存能力而提出的, 在现代战争中, 无论空战、海战、还是陆战, 弹药往往在未投入使用之前, 就可能遇到敌方的袭击而发生爆炸, 这会大大挫伤自身的战斗能力。据统计, 现代战争中坦克的破坏大约 60% 是由于受到外界袭击引起自身弹药的爆轰而破坏的^[1]。世界各国为了提高武器弹药的生存能力, 减少弹药因意外撞击、烤燃而发生的爆炸事故, 都在致力于研究性能满足武器弹药使用要求的低易损性炸药 (不敏感炸药 Insensitive Munition)^[2]。

含铝炸药是一类有较高密度和爆热的高威力混合炸药, 国内外很多学者对它进行了大量研究。该类炸药被大量使用, 主要在于铝粉和氧化剂加入炸药后, 提高了它的做功能力, 主要应用于有较强约束条件和较大尺寸战斗部装药, 如水中兵器、钻地武器等, 因含铝炸药有较高的爆温和较长的作用时间, 也适用于带反应壳体的战斗部如对空武器装药^[3]。实验结果表明, 适当减少含铝炸药中 RDX 的含量, 加入相应的 NQ 或 NTO, 机械感度有所降低, 能很好地改善其易损性。

2 试验及结果

2.1 含铝炸药件的制备

采用黑索金 (RDX) 作为主体炸药, 选择低粘度的预聚体端羟基聚丁二烯 (HTPB) 作为粘结剂, 以甲苯二异氰酸酯 (TDI) 作固化交联剂, 加入 20% 左右的铝粉制成复合炸药。根据需要, 在含铝炸药中适当减少 RDX 的含量, 相应加入较钝感的单质炸药 NQ 或 NTO, 可降低其机械感度。为了获得较好的物流变性能以满足工艺要求, 同时提高复合体系的固相含量, 增加含铝炸药能量密度, 本实验对固相填料进行了合理的颗粒级配。实验中, 对主体炸药 RDX 进行了适当的颗粒级配; 所用铝粉均为球形, 平均直径为 5 μm 和 50 μm , 同时也对它们进行了适当的颗粒级配。表 1 列出了几种含铝炸药配方。

表 1 含铝炸药配方

Table 1 Formula of aluminized explosives

配方代号	炸药组分
1	RDX/Al/粘接剂
2	RDX/Al/AP/粘接剂
3	RDX/Al/NQ/粘接剂
4	RDX/Al/NTO/粘接剂

收稿日期: 2003-05-22; 修回日期: 2003-07-01

作者简介: 罗观 (1972 -), 男, 硕士研究生, 主要从事炸药配方和性能研究。e-mail: Lg815@263.net

复合炸药的制备采取真空浇注-固化技术。其制备工艺为: (1) 按配方比例和颗粒级配要求称好主炸药、铝粉及其它成分, 对聚合物粘结剂 HTPB 及其它助剂进行干燥处理, 严格控制其水分含量; (2) 将称量好的物料按工艺要求依次加入行星式捏合机中, 在真

空、加热条件下使各组分充分混合均匀; (3) 将混合均匀的物料放入真空浇注装置中, 在加热保温条件下, 先对物料进行真空处理, 然后将物料在真空条件下浇注到模具中; (4) 浇注完成后, 将注满炸药的模具在一定温度下加热固化数天, 制成所需的复合炸药试件。

2.2 几种含铝炸药感度的测试

(1) 采用 GJB772A-97 方法 601.1 测试了三种含铝炸药的小药片撞击感度, 测试结果以爆炸百分数表示, 见表 2。

(2) 参照 GJB772A-97 方法 603.2, 利用 7.62 mm 半自动步枪对几种含铝炸药进行了枪击感度试验。含铝炸药装药尺寸为 $\Phi 50 \text{ mm} \times 76 \text{ mm}$ 带密闭钢壳炸

药, 测试结果见表 3。

(3) 参照 GJB772A-97 方法 610.1, 对几种含铝炸药进行了苏珊试验。炸药尺寸为 $\Phi 50 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$, 测试结果见表 4。

表 2 小药片撞击感度测试结果

Table 2 The impact sensitivity test results of several aluminized explosives

炸药代号	配方组成	爆炸概率/%
1	RDX/Al/粘接剂	56
3	RDX/Al/NQ/粘接剂	12
4	RDX/Al/NTO/粘接剂	12

注: 测试条件为落锤 5 kg, 落高 30 cm。

表 3 几种含铝炸药的枪击感度试验结果

Table 3 Bullet impact test results for several aluminized explosives

炸药代号	2 m 处超压/Pa	2 m 处 TNT 当量	3 m 处超压/Pa	实验现象
1	2.0	<1	0.9	5 发均冒烟, 缓慢燃烧
2	4.0	1.2	1.7	5 发均冒烟, 缓慢燃烧
3	1.1	<1	0.4	4 发未反应, 1 发冒烟
4	1.3	<1	0.6	1 发未反应, 4 发冒烟

表 4 几种含铝炸药的苏珊试验结果

Table 4 Susan test results for several aluminized explosives

炸药代号	弹丸速度/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	测量超压/kPa	TNT 当量/g
1	334	31	107
2	331	43	198
3	333	20	46
4	325	17	33
GH-925	326	23.7	64
Comp. B	300	27.8	87
TNT ^[5]	250	39.2	141

3 讨论与分析

炸药的感度是衡量炸药性能优劣的重要指标。炸药受到撞击发生爆炸的机理可用“热点”理论来解释^[4]。热点形成与传播是发生爆炸的必要条件。如果假设炸药在受到撞击时发生爆炸的概率为 P , 热点形成的概率为 P_1 , 热点传播的概率为 P_2 , 则有: $P = P_1 \times P_2$ 。只有当热点的形成满足一定的条件, 即具有足够大的尺寸、足够高的温度和放出足够的热量时, 才能逐渐发展而使炸药发生爆炸。在含铝炸药试件的制备过程中, 笔者发现采用具有橡胶弹性的液体聚合物 HTPB 粘结的含铝炸药的工艺性较好, 制得的药柱质

量较高。粘结剂对炸药的各种感度有着直接影响。由于 HTPB 的粘附性好、润湿能力强, 它可均匀包覆在炸药表面, 经加入异氰酸酯(TDI)等固化后形成以 HTPB 为软段, 固化剂为硬段的嵌段共聚物。当这类 PBX 含铝炸药受冲击或撞击时, 可发生整体塑性变形, 及时分散局部应力集中; 受热时可先于 RDX 分解产生气体胀裂弹体, 从而减少热点生成的概率, 降低炸药在受到外界刺激时的感度。

另一方面, 炸药本身的化学组成, 直接影响弹药在受外界条件刺激下发生化学反应的难易程度, 也是直接关系到炸药能量的直接因素, 可以从炸药的组分对炸药感度的影响进行分析。

(1) NQ、NTO 的影响: 表 2 的试验结果表明, NQ、NTO 对含铝炸药具有显著的降感作用。在含铝炸药中适当减少 RDX 的含量, 加入一定量的 NQ、NTO 后, 其撞击感度由 56% 降为 12%, 有较大幅度降低, 比美国标准的 A 级 B 炸药(撞击感度 20%)^[5] 的还低。枪击感度试验是用来测定炸药装药对子弹或破片撞击的敏感程度, 对于装药在实际使用过程中的安全性评估具有重要的意义。由表 3 的数据可知, 四种含铝炸药的枪击感度大小顺序为: $2 > 1 > 4 > 3$ 。含 NQ、NTO 的

3 号和 4 号配方的含铝炸药的枪击超压较小,反应等级较低,没有燃烧或爆炸现象发生,说明 NQ、NTO 对改善炸药的易损性有良好效果。苏珊试验主要用于模拟固体炸药在高速碰撞时的安全性能。表 4 的试验结果表明,当射弹以 $300 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右的速度碰撞靶板时,3 号和 4 号配方的含铝炸药反应等级(能量释放大小)均小于 GH-925、Comp. B 和 TNT。其中,3 和 4 号配方是在 1 号配方的基础上,减少部分的 RDX 含量,用较钝感的单质炸药 NQ、NTO 代替,较大幅度改善了该类炸药的易损性。

由于 NTO(撞击感度 12%)、NQ(撞击感度 0%) 是一类综合性能优良的高密度、高能量低感度炸药,其能量与 RDX(撞击感度 80%) 相近,撞击感度与摩擦感度比 TNT 还低,用 NTO、NQ 代替或部分代替 RDX 能很好改善含铝炸药的易损性。

(2) Al 粉的影响:为了提高炸药的破坏效力,通常在炸药中添加金属铝粉,可以较大幅度地提高炸药的爆热,但炸药感度有所增加。苏珊试验结果表明,1 号配方比 GH-925 炸药(不含 Al 粉)的感度要大,这是因为 Al 粉的硬度、熔点均高于 RDX 等炸药,形成热点的概率较高。夏先贵等^[6]通过实验研究认为,含铝炸药中的铝粒子相当于一般非均匀炸药中的空穴或气泡,对冲击波的传播起到干扰作用。冲击波通过铝离子后,爆轰波阵面会发生弯曲,产生局部冲击压缩能量的变化。并且铝粉在冲击波作用下和其它炸药组分彼此摩擦,这些变化和作用使得局部地方温度升高,形成热点,引起炸药的初始化学反应,从而使炸药感度增加。

(3) AP 的影响:从枪击感度和苏珊试验结果可知,含 AP 的 2 号配方比 1 号配方的感度要高一些。众所周知,AP 本身就是一种单质炸药,作为一种高能氧化剂加入到含铝炸药中,其感度较高。另一方面,由于 AP 的密度大,有效氧含量较高,在含铝炸药中添加 AP 有利于提高含铝炸药的作功能力(如气泡能),可以用于水下武器战斗部装药^[7]。

有文献报道^[8],炸药的颗粒级配对装药密度及装药工艺性影响甚大,合理的颗粒级配可提高装药密度,使其空隙率减少,从而减少热点生成的概率,不仅使爆炸性能提高,而且改善了炸药的易损性。在本实验过程中,不仅采用了 RDX 的颗粒级配,加入的 Al 粉也进行了合理的颗粒级配,得到的含铝炸药药柱的相对密度较高,外观质量很好。

评价一种炸药是否属于低易损性炸药是一项既复杂又艰难的工作,很难给出一个特定的指标来确认某

炸药是否是低易损性炸药,只能从各项试验结果来综合分析和评价其低易损性,因为战场上的各种刺激条件都有可能遇到。本实验只采用了部分评价方法,因此有必要采用多种方法对其可损性作进一步研究。

4 结 论

在高聚物浇注固化含铝炸药中添加一定比例的较钝感单质炸药 NQ、NTO,虽然混合炸药能量有所削弱,但其小药片撞击感度却有较大幅度降低,其枪击感度和苏珊试验的反应等级较低,很好地改善了这类含铝炸药的易损性,该类炸药适用于一些高性能武器战斗部装药,比如钻地武器、爆破弹等。

致谢:中物院化材所五部三组的全体人员参与实验试件的制备工作,二部的向勇、花成和吕子剑等同志参与了实验的测试工作,在此,谨对他们的辛勤工作表示感谢!同时也感谢黄亨健师兄的帮助!

参考文献:

- [1] 李晋庆. 低易损性炸药的评价方法[J]. 火炸药学报, 1999, 22(2): 15 - 18.
LI Jin-qing. Evaluation method of low vulnerability explosive[J]. *HUOZHAYAO XUEBAO*, 1999, 22(2): 15 - 18.
- [2] Mezger M, Strauss B, Moy S M. Insensitive high energy explosive compositions[R]. AD-D013806, 1988.
- [3] 黄勇, 黄辉, 关立峰, 等. 含铝炸药配方及性能研究[A]. 火炸药技术及钝感弹药学术研讨会[C], 2002.
HUANG Yong, HUANG Hui, GUAN Li-feng, et al. Study on aluminum explosive formulation and property[A]. Proceedings of Symposium on Propellants, Explosives and Insensitive Munitions[C], 2002, Zhuhai, China.
- [4] 松全才, 杨崇慧, 金韶华. 炸药理论[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1997.
- [5] 董海山, 周芬芬. 高能炸药及相关物性能[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [6] 夏先贵, 柏劲松, 林其文, 等. 含铝炸药起爆机理的研究[J]. 含能材料, 1999, 7(3): 133 - 136.
XIA Xian-gui, BAI Jing-song, LIN Qi-wen, et al. A study on initiation mechanism of Al-containing explosive[J]. *HANNENG CAILIAO*, 1999, 7(3): 133 - 136.
- [7] Thomas keicher, Andreas Happ, Alois Kretschmer. Influence of aluminium/ammonium perchlorate on the performance of underwater explosives[J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 1999, 24: 140 - 143.
- [8] 刘哲, 王行武, 唐桂芳. RDX 颗粒级配在浇注低易损 PBX 中的作用[J]. 火炸药, 1993, (2): 23 - 26.

(下转 33 页)

值仅能近似地表示废水厌氧生物处理的难易程度,而厌氧生化可降解性 BD% 则可较准确地预测出废水在厌氧生物处理中有机物降解的程度。

(2) 此废水的 pH 值接近中性,符合厌氧反应器对进液的要求,不需调节 pH。碳酸氢盐碱度测定表明,废水对 pH 值的缓冲能力较小。

(3) 废水的氮、磷营养缺乏,在厌氧废水处理中按其实际含量补充至 $COD_{BD} : N : P = 300 \sim 500 : 5 : 1$ 的比例。

(4) 采用厌氧反应器尤其是高效厌氧反应器可很好地降解黑索今,其去除率可高达 94%。

参考文献:

[1] 侯佐民,刘世强. 火炸药生产安全技术[M]. 北京: 国防工业出版社,1984.

- [2] Raafat Alnaizy, Aydin Akgerman. Oxidation treatment of high explosive contaminated wastewater[J]. *Wat. Res.*, 1999, 33(9): 2021 - 2030.
- [3] 张芳西,周淑芳. 实用废水处理技术[M]. 黑龙江科学出版社,1983.
- [4] 国家环保局. 水和废水监测分析方法编委会. 水和废水监测分析方法(第 3 版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社,1989.
- [5] 贺延龄. 废水的厌氧生物处理[M]. 北京: 中国轻工出版社,1998.
- [6] 中华人民共和国国家标准. 水质黑索今的测定 分光光度法[S]. GB/T13900-92.
- [7] 孙荣康. 火炸药工业的污染及其防治[M]. 北京: 兵器工业出版社,1990.

Study on Treatability of Wastewater Containing RDX by Bioprocess

AI Cui-ling

(Xi'an University of Technology, Xi'an 710049, China)

Abstract: This paper deals with the possibility of treating the wastewater containing RDX by a novel bio-assay technique. The general characteristics of the wastewater were analyzed, and its anaerobic biodegradability was investigated. The experimental results indicate that the anaerobic biotreatment is suitable to apply to this wastewater. The biodegradability could amount to 89.9%, and the pH value of the wastewater could meet anaerobic reactor's requirements. For lack of nitrogen and phosphorous source as nutrients, it is necessary to add salts containing these two elements into the water in order to meet the ratio of $COD_{BD} : N : P = 300 \sim 500 : 5 : 1$. In addition, sulphates exhibit no negative effects on the wastewater biotreatment, and 94% of RDX in the wastewater could be destroyed and removed.

Key words: environmental engineering; RDX; hybrid dynamite wastewater; anaerobic; biotreatability

(上接 22 页)

Study on Low Vulnerability of Cast-cured PBX Aluminized Explosive

LUO Guan, HUANG Hui, ZHANG Ming, GUAN Li-feng, LI Shang-bin

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

Abstract: The cast-cured under vacuum vibration method of charge production was introduced in the paper. With this method, the charge of HTPB bonded RDX has good density uniformity and no cracks. Results showed that adding some more insensitive explosives as nitroguanidine (NQ) or 3-nitro-1,2,4-triazole-5-one (NTO) to partially replace RDX could effectively improve the vulnerability of aluminized explosive, for example, small scale impact sensitivity was greatly lowered, reaction type of bullet test, Susan test was very low. These plastic bonded explosives (PBX) are suitable for warhead of high performance weapon.

Key words: material science; low vulnerability; aluminized explosive; hydroxyl-terminated polybutadiene (HTPB); impact sensitivity