

文章编号: 1006-9941(2007)01-0009-03

HMX/TATB 基高聚物粘结传爆药的研究

王保国, 张景林, 陈亚芳, 柴 涛

(中北大学化工与环境学院, 山西 太原 030051)

摘要: 为解决传爆药品种少, 安全性不能满足现代战争要求的矛盾, 运用混合粘结技术和主体炸药的粒度级配技术, 采用正交试验确定了新传爆药的配方: 奥克托今(HMX) 细 43.25%, 粗 43.25%, 三硝基均苯三胺(TATB) 10%, 氟橡胶(Viton A) 2.5%, 聚硝基苯撑(PNP) 1.0%。用溶液-水悬浮法制备了该传爆药的造型粉, 测试了该造型粉的主要性能, 结果表明, 该传爆药不仅具备了 PBXN-5 传爆药流散性和成型性好的特点, 而且能量、体积膨胀率、耐热性、安全性明显改善。

关键词: 物理化学; 钝感; 传爆药; HMX; TATB

中图分类号: TJ55; O64

文献标识码: A

1 引 言

传爆药在弹药的爆炸序列中起着传递和扩大爆轰的重要作用, 是各类引信中必不可少的爆炸材料, 世界各国都十分重视传爆药性能及新品种传爆药的研究^[1]。PBXN-5 传爆药是 20 世纪 70 年代由美国研制的, 它以 HMX 为主体炸药, 氟橡胶 Viton A 为粘结剂, 到 20 世纪末为止, 是能量最高, 且能够被大多数小尺寸雷管可靠起爆, 适用于火工品元件小型化的发展趋势。我国已于 20 世纪 80 年代末由中北大学成功研制出该传爆药, 并在 30 多种武器弹药中获得应用。

进入 21 世纪后, 低易损弹药的发展给传爆药的研究提出了更加苛刻的要求。为确保整个爆炸序列的不敏感程度与主装药匹配, 要求传爆药不仅钝感, 而且能量输出大, 这是一对矛盾。现有的 PBXN-5 传爆药已无法达到上述要求, 为此, 作者采用炸药粒度级配和混合粘结技术, 研究了一种新型传爆药配方, 使原有传爆药能量及安全性能均得到明显改善。

2 配方研究

2.1 粘结剂的选择

含氟高分子化合物是应用较多的一类粘结剂, 具有良好的耐热性、耐老化性, 具有较高的密度; 爆炸后生成 HF 并放出大量的热。其中应用最多的是氟橡胶

(Viton A)^[2]、聚四氟乙烯和三氟氯乙烯以及氟树脂(Kel-F800 和 Exon461) 等。

使用含能粘结剂是化学钝感的一种方法。密度高、生成热高的含能粘结剂可以提高主体炸药的能源利用率。殷雅侠等^[3]在无壳弹发射药的吸湿性和热安定性研究中使用了含能粘结剂聚硝基苯撑(PNP)。

将含能粘结剂和惰性粘结剂结合起来, 可使混合炸药既具有适宜的能量特性, 又具有优良的力学性能。为了不因粘结剂的加入而影响传爆药的能源输出, 本研究采用惰性粘结剂 Viton A 和含能粘结剂 PNP 作为混合粘结剂。

2.2 主体炸药的选择

以 HMX/TATB 为基的混合炸药是近年来研究的重点, 实验证明, 这种混合炸药可以在一定程度上满足钝感的要求, 且 TATB 的耐热性好, 加入 TATB 后传爆药的耐热性能也会有一定的提高^[4]。

本研究选择 HMX 和 TATB 两种单质炸药作为新型传爆药的主体炸药。

2.3 主体炸药的粒度和粒度级配

关于粒度对炸药撞击感度的影响, 维列勒、安德列夫^[5]和 Simpon R L^[6]等分别对不同的炸药粒度与撞击感度的关系进行了实验研究, 提出了不同的观点。张小宁^[7]等对超细 RDX 和 HMX 的撞击感度作了报道, 指出超细 HMX 和 RDX 撞击感度明显降低。刘玉存^[8]等的研究也表明, HMX 炸药的撞击感度随其粒度的减小而降低。吕春玲、张景林^[9]的研究也得出了相同的结论。

关于粒度和粒度级配对混合炸药的冲击波和能源输出的影响, 刘玉存^[10]等通过对 HMX 粒度及粒度级

收稿日期: 2006-03-23; 修回日期: 2006-08-20

基金项目: 中北大学 2005 年自然科学基金(NUC2005045)

作者简介: 王保国(1970-), 男, 副教授, 博士研究生, 主要从事超细含能材料的制备、改性, 新型传爆药的研制、性能测试、应用技术研究。

e-mail: baoguo wang3919@126.com or baoguo wang3919@sohu.com

配对塑料粘结炸药冲击波感度和爆炸能量输出的研究表明,随着主体炸药 HMX 中细颗粒的增加,混合炸药的冲击波感度也降低,特别是 HMX 的粒径为 $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 时,冲击波感度大幅下降。当药柱密度为 90% 理论密度时,随主体炸药 HMX 粒度的减小,混合炸药输出能量显著提高。柴涛、张景林^[11],吕春玲、刘玉存^[12] 等的研究也有相似的结论。

因此,在主体炸药的种类和组成确定的情况下,对主体炸药进行超细化,不仅可提高混合炸药安全性,还能提高混合炸药的输出能量。

2.4 确定配方的正交实验

根据目前实验的工艺条件及相关研究,采用引射离散结晶细化技术将 HMX 细化成 $1 \mu\text{m}$ 和 $40 \mu\text{m}$ 两种粒径,由山西省超细粉体技术工程中心提供。为提高传爆药的爆速,可选择粗细比为 $1/3$ 、 $1/2$ 、 $1/1$ 为正交实验中 HMX 的粒度比的三个水平,研究 HMX 粒度级配对冲击波感度的影响。

TATB 的加入可以降低传爆药的机械感度,但这必将引起较大的能量损失,即传爆药的爆速会有较大的降低。本研究尝试加入少量 TATB (5%、10%、15%),研究 TATB 的加入量对传爆药性能的影响,寻求能量与感度的协调点。

粘结剂除采用惰性粘结剂 Viton A 外,还根据本实验室的研究条件,尝试加入含能粘结剂 PNP,使传爆药既具有适宜的能量特性,又具有优良的安全性能。初步的工艺试验结果表明,粘结剂总量为 3% 是一个临界点,少于 3% 时,混合炸药不能成型,但是粘结剂超过 5% 时,能量损失又比较大,因此,试验中粘结剂的总量控制在 3% ~ 5% 之间。另外,少量 PNP 的加入造型粉成型性明显提高,但当 PNP 为 2.5% 或 3% 时,颗粒表面包覆着一层 PNP,说明加入的 PNP 有剩余,未能与其它组分混合均匀,因此选择 PNP 在 1% ~ 2% 之间。正交实验的因素和水平如表 1 所示。所有的配方全部采用溶液-水悬浮法制备成造型粉,对其进行冲击波感度、爆速、撞击感度试验。实验结果见表 2,其中药柱密度为 95% TMD。

从表 2 中可以看出,TATB 含量为 10% 时,混合炸药的爆速最高,且撞击感度较低,而从冲击波感度的极差 ($S_B = 0.61 > S_C = 0.28 > S_A = 0.19 > S_D = 0.14$) 看,因素 A (TATB 含量) 对冲击波感度的影响不太显著,因此,可将此水平定为最佳水平;HMX 粒度级配 (因素 B) 对冲击波感度的影响较大,粗细比为 $1/1$ 时冲击波感度值最低,爆速则随细颗粒的加入而逐渐升

高^[10],由此可见 $1/1$ 的级配可满足高能、钝感的要求;对于 Viton A 和 PNP 两种粘结剂 (因素 C 和 D),由于实验所选的水平较为相近,对撞击感度的影响不太明显 ($S_A = 0.43 > S_D = 0.12 > S_B = 0.07 > S_C = 0.01$)。所以,最佳的因素水平为 $A_2B_1C_2D_3$,该配方的爆速为 $8672.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,撞击感度 60%,冲击波感度 8.18 mm。传爆药配方为: HMX 86.5% (细/粗 = $1/1$),TATB 10%, Viton A 2.5%, PNP 1.0%,即细 HMX 43.25%,粗 HMX 43.25%,TATB 10%,Viton A 2.5%,PNP 1.0%。

表 1 正交实验的因素和水平

Table 1 Factors and level in orthogonal experiment

level	A	B	C	D
	TATB/%	HMX fine/coarse	Viton A/%	PNP/%
1	5	1/1	2	2
2	10	1/2	2.5	1.5
3	15	1/3	3	1

表 2 正交实验结果

Table 2 Results of orthogonal experiment

No.	A	B	C	D	H	v_D	α
					/mm	/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	/%
1	1	1	1	1	8.20	8679.3	55
2	1	2	2	2	8.50	8608.1	80
3	1	3	3	3	8.62	8516.3	75
4	2	1	2	3	8.18	8672.6	60
5	2	2	3	1	8.73	8639.1	55
6	2	3	1	2	8.75	8641.6	70
7	3	1	3	2	7.90	8611.7	30
8	3	2	1	3	8.87	8449.3	30
9	3	3	1	1	8.30	8368.4	20

Note: H , shock wave sensitivity; v_D , detonation velocity; α , impact sensitivity.

3 性能测试

小试所得的产品要作为传爆药使用,必须通过《传爆药安全性实验方法》(GJB2178-94)的实验:小隔板试验(冲击波感度)、撞击感度(小落锤)试验、撞击易损性(飞板)试验、真空安定性和化学分解性试验、热丝点火试验、热可爆性(篝火)试验、静电感度试验、摩擦感度试验。安全性和主要性能测试委托中国兵器工业传爆药检测中心进行测试,通过了 GJB2178-94 的安全性试验,因此安全合格。同时为了便于和 PBXN-5 的主要性能进行比较,还测试了各自的冲击波感度、撞击感度、真空安定性、自发火温度、体积膨胀率、爆速。

水分的测定按照《炸药试验方法》(GJB772A-97)方法 102.1 执行。堆积密度(湿法)测定按照 GJB772A-97

方法 402.2 执行。冲击波起爆感度的测定按照 GJB2178-94 方法 101 执行。撞击感度测定按照 GJB772A-97 方法 601.1~601.3 执行。真空安定性测定按照 GJB2178-94 方法 104 执行。爆速的测定按照 GJB772A-97 方法 702.1 执行。自发火温度的测定按照 GJB772A-97 方法 505.1 执行。

最佳配方所得的造型粉与 PBXN-5 的主要性能指标如表 3 所示。

表 3 最佳配方的造型粉的主要性能
与 PBXN-5 主要性能比较

Table 3 Main properties of the product compared
with that of PBXN-5

item	PBXN-5	the new product
density/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	1.896	1.905
small clapboard amount/mm	9.3	8.20
impact sensitivity ¹⁾ /%	90	55
vacuum stability ²⁾ /mL	0.17	0.03
self ignition temperature/ $^{\circ}\text{C}$	262	272
volume expansibility/%	4.07	1.25
velocity of detonation ³⁾ / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	8525	8672.6

Note: 1) drop height 100 cm, drop hammer (2500 ± 5) g;

2) 5 g, 100 $^{\circ}\text{C}$, 48 h; 3) 95% TMD.

从表 3 可以看出,新研制的传爆药的冲击波感度比 PBXN-5 降低了 11.8%;撞击感度降低了 38.9%;真空安定性有很大的提高,只有 PBXN-5 的 17.6%;自发火温度提高了 10 $^{\circ}\text{C}$;体积膨胀率只有 PBXN-5 的 30.7%,爆速提高了 1.73%。综合比较,该传爆药的安全性、体积膨胀率,还是能量输出都比 PBXN-5 有较大的提高。该新型传爆药能满足低易损弹药对传爆药的要求。

4 结 论

(1) 新研制的以 HMX/TATB 为基的传爆药在保留了 PBXN-5 传爆药能量高、流散性和成型好等优点的基础上,撞击感度、冲击波感度有很大程度的降低,药柱的体积膨胀率降低了近 70%,自发火温度提高了 10 $^{\circ}\text{C}$,克服了 PBXN-5 传爆药药柱尺寸稳定性差等缺点。

(2) 运用混合粘结技术、主体炸药的粒度级配技术和添加钝感炸药成功解决了传爆药能量输出和安全性之间的矛盾,为实现含能材料的高能和钝感提供了一条有效途径。

(3) 采用正交试验确定了新传爆药的配方: HMX 细 43.25%, HMX 粗 43.25%, TATB 10%, Viton A 2.5%, PNP 1.0%。

参考文献:

- [1] 张树海. 某新型聚奥传爆药的研究[J]. 华北工学院学报, 1999, 20: 25-28.
ZHANG Shu-hai. Study on a new type polymer bonded HMX booster explosive[J]. *Journal of North China Institute of Technology*, 1999, 20: 25-28.
- [2] 殷雅侠, 徐赛龙, 张续柱. 无壳弹发射药的吸湿性和热安定性研究[J]. 含能材料, 2000, 8(1): 34-36.
YIN Ya-xia, XU Sai-long, ZHANG Xu-zhu. A study on hygroscopicity and thermal stability of caseless propellant[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2000, 8(1): 34-36.
- [3] 张杏芬. 国外火炸药原材料性能手册[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1989.
ZHANG Xing-fen. Foreign Gunpowder and Explosive Raw Material Capability Notebook[M]. Beijing: Ordnance Industry Press, 1989.
- [4] 沙恒, 任务正. 一种低易损性战斗部用炸药: B2214[J]. 火炸药, 1994, (4): 37-41.
SHA Heng, REN Wu-zheng. Explosive-B 2214 used in a kind of lower damageable warhead[J]. *Gunpowder and Explosive*, 1994, (4): 37-41.
- [5] Simpson R L, Urtiew P A, Ornellas D L, et al. CL-20 Performance exceed that of HMX and its sensitivity is moderate[J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 1997, 22: 249-255.
- [6] 张小宁, 王卫民, 徐更光. 超细 HMX 和 RDX 撞击感度研究[J]. 火炸药学报, 1999, 22(1): 1-3.
ZHANG Xiao-ning, WANG Wei-min, XU Geng-guang. A Study about impact sensitivity of ultrafine HMX and RDX[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 1999, 22(1): 1-3.
- [7] 刘玉存, 王建华, 安崇伟, 等. RDX 粒度对机械感度的影响[J]. 火炸药学报, 2004, 27(2): 7-9.
LIU Yu-cun, WANG Jian-hua, AN Chong-wei, et al. Effect of particle size of RDX on mechanical sensitivity[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2004, 27(2): 7-9.
- [8] 吕春玲, 张景林. 粒度对 HMX 撞击感度的影响[J]. 爆炸与冲击, 2003, 23(5): 472-474.
LÜ Chun-ling, ZHANG Jing-lin. Influence of particle size on the impact sensitivity of HMX[J]. *Explosion and Shock Waves*, 2003, 23(5): 472-474.
- [9] 刘玉存, 王作山, 柴涛. HMX 粒度及其级配对塑料粘结炸药冲击波感度和爆炸输出能量的影响[J]. 兵工学报, 2000, 21(4): 357-360.
LIU Yu-cun, WANG Zuo-shan, CHAI Tao. Influence of HMX particle size and gradation on the shock sensitivity and output of a PBX explosive[J]. *Acta Armamentarii*, 2000, 21(4): 357-360.
- [10] 柴涛, 张景林. HMX 粒度、粒度级配对混合传爆药的性能影响的研究[J]. 中国安全科学学报, 2000, 10(3): 71-74.
CHAI Tao, ZHANG Jing-lin. Effects of particle size of HMX on the shock sensitivity and output of explosive composition based on HMX[J]. *China Safety Science Journal*, 2000, 10(3): 71-74.
- [11] 吕春玲, 刘玉存. HMX 粒度对 HMX/F₂₆₄₁ 输出能量的影响[J]. 火炸药学报, 2003, 26(4): 64-66.
LÜ Chun-ling, LIU Yu-cun. The influence of HMX granularity on the energy output of a PBX HMX/F₂₆₄₁[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2003, 26(4): 64-66.

4 结论与讨论

对炸药的摩擦感度问题进行了初步的理论研究。理论模型中考虑了由于炸药与金属摩擦作用产生的熔化,以及炸药升温引起摩擦阻力的变化。通过数值模拟考察了不同的摩擦系数对炸药与钢摩擦引起的点火的影响。得到了 HMX 在 400 MPa 的压力作用下以 $3.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的相对速度与钢摩擦时界面温度的变化。数值计算结果表明,当界面温度达到 750 K 时,炸药发生点火。确定了 HMX 的点火时间为 0.43 ms,金属与炸药的滑移的距离为 1.6 mm,与 HMX 的摩擦感度实验结果基本符合。

炸药与金属的摩擦系数是影响炸药摩擦感度的重要参数。要想预测高能炸药的摩擦感度,需要对炸药与各种介质的摩擦系数,尤其是炸药熔化后的摩擦系数进行研究。

参考文献:

[1] Glenn J G, Foster J C, Gunger M, et al. A test method and model to

determine the thermal initiation properties of an energetic material in a low pressure long duration event [A]. 12th International Symposium on Detonation [C], San Diego, California, 2002. 175 - 187.

[2] Birk A, Baker P, Kooker D E, et al. Nondetonative explosions and burning of composition-B explosive [A]. 12th International Symposium on Detonation [C], San Diego, California, 2002. 389 - 398.

[3] 李德晃. 炸药作业的事故控制 [M]. 绵阳: 强激光与粒子束杂志社, 2001.

[4] 董海山, 周芬芬. 高能炸药及相关物性能 [M]. 北京: 科学出版社, 1989.

DONG Hai-shan, ZHOU Fen-fen. Property of High Explosives and Their Components [M]. Beijing: Science Press, 1989.

[5] 孙锦山, 朱建士. 理论爆炸物理 [M]. 北京: 国防科技出版社, 1995.

SUN Jin-shan, ZHU Jian-shi. Theory of Detonation Physics [M]. Beijing: National Defence Press, 1995.

[6] 林文洲. 高能炸药摩擦感度的理论研究 [D]. 北京: 中国工程物理研究生部, 2006.

[7] 向永. 私人通信. 2006.

[8] Gibbs T R, Popolato A. LASL Explosive Property Data [M]. University of California Press, 1980.

Theoretical Analysis on Friction Sensitivity of High Explosive

LIN Wen-zhou¹, HONG Tao²

(1. Beijing Graduate School, China Academy of Engineering Physics, Beijing 100080, China;

2. Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Beijing 100088, China)

Abstract: Friction sensitivity of high explosive was analyzed according to thermal explosion theory by theoretical analysis and numerical modeling. Melting of high explosive by friction between high explosive and metal was considered in the model. The change of friction force acting on high explosive due to melting was taken into account. Temperature increase on friction surface and ignition time of high explosive were determined by calculation. The pressure acting on HMX was 400 MPa and relative velocity was $3.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ between high explosive and steel, the same as the friction sensitivity test for high explosives. As the temperature on friction surface reached 750 K, ignition of high explosive occurred. Ignition time was 0.43 ms and slide distance between steel and high explosive was 1.6 mm. The slide distance is in agreement with experimental one quite well.

Key words: explosion mechanics; high explosive; friction sensitivity; ignition; melting

(上接 11 页)

PBX Booster Explosive Based on HMX/TATB

WANG Bao-guo, ZHANG Jing-lin, CHEN Ya-fang, CHAI Tao

(College of Chemical Engineering and Environment, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: The optimum formulation with fine HMX 45.5%, coarse HMX 45.5%, TATB 5%, Viton A 2.0%, and PNP 2.0% respectively was confirmed by the orthogonal experiment and blend binder and main explosive particle grading technology. Moulding powder of the new booster explosive was prepared by solution-water suspension, and the properties of this formulation were tested. The results show that its main properties (small clapboard amount, impact sensitivity, vacuum stability, self ignition temperature, volume expansibility, velocity of detonation) were better than that of PBXN-5.

Key words: physical chemistry; insensitivity; booster explosive; HMX; TATB