

doi: 10.7690/bgzdh.2020.09.020

# 含某金属粉炸药爆轰性能分析

黄开书, 万力伦, 陈 洋, 彭泓铮, 杨丰友  
(重庆红宇精密工业有限责任公司, 重庆 402760)

**摘要:** 为提升武器装备的综合毁伤威力, 对金属粉混合炸药的温度及纵火等爆轰性能进行研究。以端羟基聚丁二烯粘结剂体系为载体, 奥克托金 (Octogen, Cyclotetramethylenetetranitramine, HMX) 作为高能炸药, 采用纳米金属粉代替部分铝粉, 设计了炸药配方, 分析了纳米金属粉对混合炸药温度及纵火等爆轰性能的影响。研究结果表明: 在相同装药体积条件下, 随着纳米金属粉加入, 使炸药纵火能力较传统铝粉有一定提高, 高温持续时间也显著增加。

**关键词:** 纳米金属粉; 炸药; 高温; 引燃

**中图分类号:** TJ510.5 **文献标志码:** A

## Analysis of Detonation Performance of Explosives Containing Metal Powder

Huang Kaishu, Wan Lilun, Chen Yang, Peng Hongzheng, Yang Fengyou  
(Chongqing Hongyu Precision Industry Co., Ltd., Chongqing 402760, China)

**Abstract:** For improving integrate damage capacity of weapon equipment, research on detonation performance of metal powder mix explosive, such as temperature and arson. Take hydroxyl terminated polybutadiene as carrier and HMX as high explosive, use nano-metal powder to replace part of AL, design the explosive formula, and analyze influence of nano metal powder on detonation performance, such as mix explosive temperature and arson. The research results show that the ignition ability is improved and duration of high temperature is increased significantly by adding nano metal powder under the same loading volume.

**Keywords:** nano metal powder; explosives; high temperature; ignition

### 0 引言

随着武器装备的不断发展, 武器装备对炸药能量也提出更高的要求。由于金属粉具有高热值特点, 在爆轰中能够释放大量的热, 增强炸药的爆轰毁伤效应; 因此, 金属粉作为高能燃料被广泛应用于火炸药, 成为提高弹药毁伤威力和射程的重要途径之一, 特别是纳米金属粉材料的研究日益受到火炸药研究人员的重视<sup>[1]</sup>。如: V F Komarov 等探讨了 Al、Fe、Cu、Ni、Ti 和 Zn 等纳米金属粉对提高复合炸药爆炸性能的作用<sup>[2]</sup>; 文献[3-8]研究了微细粉、纳米金属粉、纳米铝热剂等新型金属材料在火炸药领域中的应用特性, 包括纳米材料对混合炸药爆速的影响以及对推进剂燃烧速度的增益情况等; 陈朗、黄辉等研究了同铝粉尺寸对含铝炸药加速金属能力的影响<sup>[9-10]</sup>; 刘长宝等开展了纳米氧化铁对端羟基聚丁二烯 (Hydroxy-terminated polybutadiene, HTPB) 性能的影响研究<sup>[11]</sup>。在火炸药领域研究发现, 通过金属粉纳米化可大幅提高金属粉的化学反应活性, 并将得到更多优异的性能。如: 在烟火药中掺入纳

米金属粉, 可提高烟火药燃烧的稳定性和持久性; 炸药中添加金属粉可提高爆热, 并大幅度提高做功能力; 在推进剂中提高燃烧速率。因此, 金属粉特别是纳米金属粉的应用能提高炸药做功能力、改善火药燃烧性能为提升在密闭空间内的毁伤效能, 以及武器装备的综合毁伤威力, 笔者运用某纳米金属粉与传统铝粉进行复配, 设计了含合金粉的高威力炸药试样配方, 试验研究了某纳米金属粉对混合炸药的高温 and 引燃效应的影响。

### 1 试验

#### 1.1 样品状态

在相同装药体积条件下, 采用相同起爆方式, 对含合金粉、铝粉炸药配方、TNT 药柱的高温效应和纵火效应进行测试, 比较合金粉对炸药高温效应和纵火效应的影响。炸药配比见表 1, 主装药药柱尺寸为  $\phi 170 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ , 扩爆药柱为  $\phi 89 \text{ mm} \times 8.8 \text{ mm}$  JH-14 药柱 2 节, 起爆药柱为  $\phi 43 \text{ mm} \times 54 \text{ mm}$  黑索金 (Hexogen, Cyclotrimethylenetrinitramine,

收稿日期: 2020-05-14; 修回日期: 2020-06-10

作者简介: 黄开书(1983—), 男, 安徽人, 硕士, 高级工程师, 从事含能材料应用技术研究。E-mail: 250642140@qq.com。

RDX)药柱 1 节。

表 1 试验样品组成

名称	粘结剂	HMX	铝粉	Nano-金属粉	TNT
F1	10	57	33	—	—
F2	10	57	28	5	—
F3	—	—	—	—	100

### 1.2 试验测试

试验中，在距爆心 90 m 处放置钢包，钢包内架设 1 台 IRS669 型红外热成像仪，红外测温仪镜头对准测试药柱，用以测试试样爆轰过程中的高温效应。在距爆心 7, 10, 15, 18 m 处布置 2 路 2 m×2 m 靶框，保证靶框中心与药柱爆心齐平，在每个靶框上放置棉纱若干，其中一路棉纱上用柴油润湿，另一路棉纱则为干棉纱。试验现场布置见图 1。



图 1 现场布置

## 2 结果与讨论

### 2.1 高温效应

高温数据处理方法，根据普朗克黑体辐射定律，辐射能量的大小与物体的表面温度、辐射波长存在关系如下：

$$E(\lambda, T_0) = \frac{C_1}{n^2 \lambda^2 (e^{C_2/\lambda T_0} - 1)}$$

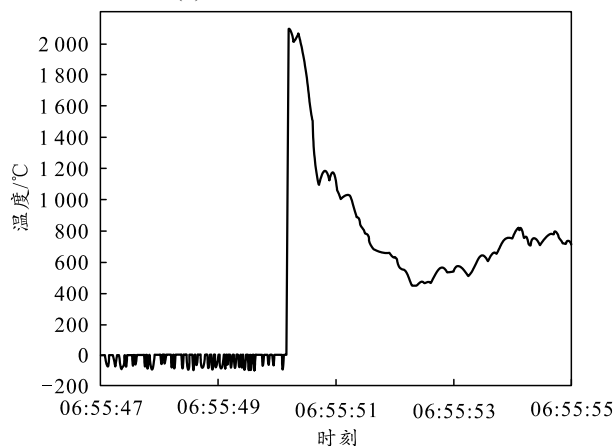
式中： $\lambda$  为辐射波的波长； $T_0$  为黑体的温度； $C_1$  为第一辐射常数； $C_2$  为第二辐射常数； $E(\lambda, T_0)$  为黑体的单色辐射度，是波长和温度的函数，表示黑体在温度  $T_0$  时波长  $\lambda$  附近单位波长间隔、单位发射面积、单位时间内辐射的能量。利用 IRS669 型红外热成像仪测得的数据见表 2，比辐射率为 0.6，试验图片见图 2—4。

表 2 高温效应测试结果

序号	最高温度/ ℃	持续时间/ ms(1 000 ℃)	持续时间/ ms(500 ℃)	火球面积/ m <sup>2</sup>
F1	2 089.0	1.00	0.58	43.0
F2	2 130.3	1.48	0.84	45.1
F3	1 915.2	0.68	0.28	41.1



(a) F1 火球表面温度分布

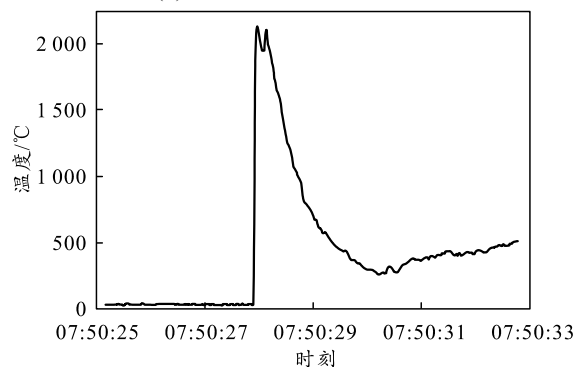


(b) F1 高温随时间变化

图 2 F1 火球表面温度分布及高温随时间变化



(a) F2 火球表面温度分布

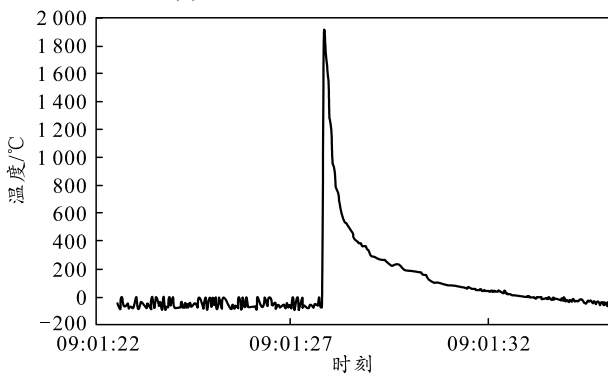


(b) F2 高温随时间变化

图 3 F2 火球表面温度分布及高温随时间变化



(a) F3 火球表面温度分布



(b) F3 高温随时间变化

图 4 F3 火球表面温度分布及高温随时间变化

结合图 2—4, 对比表 2 中数据可知: F1、F2 的最高温度、高温持续时间及火球面积均较 F3 明显增加, 而加入纳米金属粉的 F3 方案则较含铝配方明显提高。

### 2.2 引燃效应

如图 5 所示, 方案 1 及方案 3 均只引燃了距爆心 3 m 处的棉纱, 而方案 2 则引燃了 5~7 m 处的棉纱, 显示出具有较好的纵火效应。



图 5 引燃效应试验截图

### 2.3 分析与讨论

加入纳米金属粉配方之所以能够提高试样的高

温效应和引燃效应, 主要是因为试验所选纳米金属粉颗粒小、比表面积大, 使反应温度降低, 能够在高能炸药爆轰后瞬间快速参与爆轰反应。同时由于该金属粉可以与配方中的铝粉发生铝热反应产生大量的热, 提高了爆轰温度, 为更多的铝粉进行二次反应创造了有利环境, 使铝粉的反应程度和释能更为充分, 提高了整体的反应释能效率, 从而使高温持续时间变长, 也增大了引燃效应。

### 3 结论

1) 较之于含铝高威力炸药, 选用合适的纳米金属粉可提高炸药的高温火球效应, 含铝炸药和含纳米金属粉炸药的高温效应均较 TNT 显著提高。

2) 较之于含铝高威力炸药, 选用合适的纳米金属粉可提高炸药的引燃效应, 而含铝炸药的引燃效应在试验中没有体现出来。

### 参考文献:

- [1] 王晓峰, 郝仲璋. 炸药发展中的新技术[J]. 火炸药学报, 2002, 25(4): 35-38.
- [2] KOMAROV V F, SAKOVICH G V, VOROZHTSOV A B. The role of nanometals in enhancement of the explosion performance of composite explosives[Z].
- [3] LEONID K, FREDERICK T. Metallic Nanopowders: Rocket Propulsion[M]. Dekker Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology, Second Edition, Florida, 25 March 2009.
- [4] RISHA G R A, JUSTIN L S, VIGOR Y, et al. Combustion and conversion efficiency of nanoalum in water mixtures[J]. Combustion Science and Technology, 2008, 180(12): 2127-2142.
- [5] 孙业斌, 惠君明, 曹欣茂. 军用混合炸药[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1995: 2-5.
- [6] 李宇农, 何建军, 龙小兵. 纳米金属粉末研究进展[J]. 粉末冶金工业, 2004, 14(1): 34-39.
- [7] 胥会祥, 李兴文, 赵凤起. 纳米金属粉在火炸药中应用进展[J]. 含能材料, 2011(1): 232-239.
- [8] 周超, 李国平, 罗运军. 纳米铝热剂的研究进展[J]. 化工新型材料, 2010(S1): 4-7.
- [9] 陈朗, 张寿齐, 赵玉华. 不同铝粉尺寸含铝炸药加速金属能力的研究[J]. 爆炸与冲击, 1999, 19(3): 250-255.
- [10] 黄辉, 黄亨建, 黄勇. 以 RDX 为基的含铝炸药中铝粉粒度对加速金属能力的影响[J]. 爆炸与冲击, 2006, 26(1): 7-12.
- [11] 刘长宝, 刘学, 胡期伟, 等. 纳米氧化铁对 HTPB 性能的影响[J]. 含能材料, 2012(6): 744-747.