

文章编号: 1001-1455(2004)01-0059-04

亚微米炸药的感度选择性*

张景林, 吕春玲, 王晶禹, 谭迎新

(华北工学院环境与安全工程系, 山西 太原 030051)

摘要: 采用亚微米粉体炸药($0.1 \sim 1 \mu\text{m}$)与普通粉体炸药($> 10 \mu\text{m}$)进行了落锤撞击感和冲击片(高压短脉冲)起爆感度对比试验, 发现亚微米粉体炸药有在常见环境力(一般的撞击、摩擦)条件下比较安全, 而在特定激励(冲击片)作用下起爆可靠性提高的感度选择性特点, 并从理论上对上述特性进行了探讨。研究表明, 亚微米粉体炸药具有非常好的应用前景。

关键词: 爆炸力学; 感度; 起爆; 亚微米粉体炸药; 撞击感度; 冲击片起爆感度

中图分类号: O389; TQ564.3

国标学科代码: 130°35

文献标志码: A

1 引 言

亚微米粉体技术是材料科学技术领域极其重要的基础技术之一, 超细化、改性、造粒是它的三个技术内涵。在电子、通信、生物、化工领域, 亚微米粉体技术已经得到广泛应用并取得非凡的效果, 在发展比较快的专业技术领域, 已经超越这一技术阶段正在步入纳米技术。但是多数固体炸药粉体的应用仍处在粗粉体阶段, 亚微米炸药粉体的加工工艺和性能研究刚刚起步。所以, 在炸药、火工药剂、推进剂领域研究其亚微米粉体工艺、性能、机理的工作就显得尤为重要和迫切。国内外研究的初步结果表明: 亚微米粉体炸药具有感度选择性和爆轰更完全的明显特点。故在同时具备高安全性、高可靠性的高新技术武器系统中, 研究工作具有非常好的发展前景, 同时为进一步开展纳米炸药技术奠定基础。

2 试 验

2.1 亚微米粉体炸药的粒度表征

(1) 样品名称: HMX, 分散介质: 水。仪器类型: OMEC 激光粒度测定仪。测试结果(见图 1)表明, 试验所用的 HMX 粒度在 $0.5 \sim 1 \mu\text{m}$ 之间, 属于亚微米级粉体炸药。微分分布与累计分布几乎重合。

(2) 样品名称: HNS, 分散介质: 水。仪器类型: 布鲁克海文激光粒度测定仪。测试结果(见图 2)表明, 试验所用的 HNS 属于亚微米级粉体炸药。

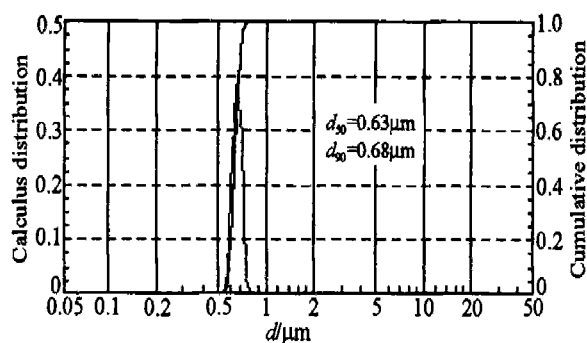


图 1 亚微米 HMX 炸药的粒度分布图

Fig. 1 Size distribution curve of sub-micron HMX

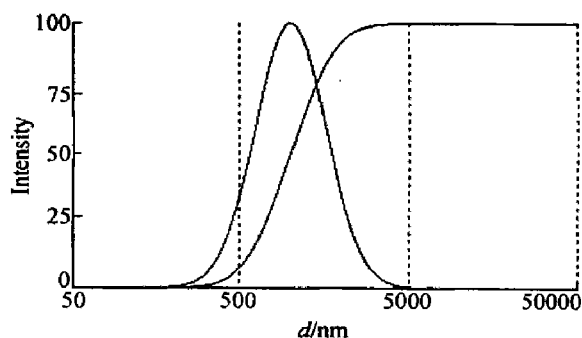


图 2 亚微米 HNS 炸药的粒度分布图

Fig. 2 Size distribution curve of sub-micron HNS

* 收稿日期: 2002-12-30; 修回日期: 2003-04-08

作者简介: 张景林(1939—), 男, 教授, 博士生导师。

2.2 落锤撞击感度试验

(1)不同粒度 HMX 和 RDX 撞击感度试验,采用 12 型落锤仪,锤重 2.5kg;试样量 35mg。常温,相对湿度 $<70\%$ 。试验结果(见图 34)表明,炸药粒度对撞击感度有显著影响,且随着炸药粒度的减小撞击感度逐渐降低,亚微米粉体炸药的撞击感度呈明显降低趋势。

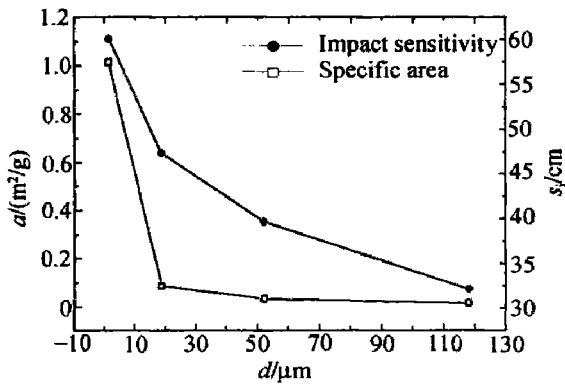


图 3 HMX 粒度、比表面积和撞击感度关系曲线
Fig.3 The curve of impact sensitivity particle size and specific area of HMX

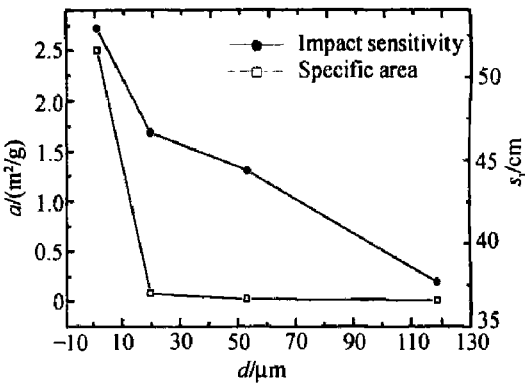


图 4 RDX 粒度、比表面积和撞击感度关系曲线
Fig.4 The curve of impact sensitivity particle size and specific area of RDX

(2)不同粒度 HNS 撞击感度试验,采用 12 型落锤仪,锤重 5.0kg;试验量 35mg。常温,相对湿度 $<70\%$ 。试验结果(见表 1)表明,对于相同晶型的 HNS,亚微米粉体炸药的撞击感度显著低于普通粉体炸药的撞击感度。

表 1 HNS 撞击感度试验结果

Table 1 Impact sensitivity test data of HNS

样品	特性落高/cm
普通粉体炸药($>10\mu\text{m}$)	30.67
亚微米炸药($0.1\sim1\mu\text{m}$)	72.44

2.3 冲击片(高压短脉冲)起爆感度试验

冲击片材料为聚酰亚胺,尺寸为 $\varnothing 1\text{mm}\times 50\mu\text{m}$;炮筒材料为蓝宝石,尺寸为 $\varnothing 1\text{mm}\times 2\text{mm}$;反射片为玻璃,药量 2mg。

2.3.1 不同粒度 PETN 飞片感度试验结果

用普通粉体炸药和亚微米 PETN 做冲击片起爆对比试验(见表 2),可见在相同的起爆电压下,亚微米 PETN 更容易起爆,其相应的能量输出更大。

表 2 PETN 飞片感度试验结果

Table 2 Test data of PETN

起爆电压/V	钢凹深度/mm	
	普通粉体炸药($>10\mu\text{m}$)	亚微米炸药($0.1\sim1\mu\text{m}$)
2000	不爆	0.259
2100	0.201	0.282
2200	0.219	0.333
2300	0.313	0.335
2400	0.375	0.369
2500	0.327	0.375

2.3.2 不同粒度 HNS 飞片感度对比试验结果

用普通粉体炸药和亚微米 HNS 做冲击片起爆对比试验(见表 3),可见在相同的起爆电压下,亚微米 HNS 更容易起爆,其相应的能量输出更大。

表 3 HNS 飞片感度试验结果

Table 3 Test data of HNS

起爆电压/V	钢凹深度/mm	
	普通粉体炸药 ($> 10\mu\text{m}$)	亚微米炸药 ($0.1 \sim 1\mu\text{m}$)
4300	0.275	0.286
3800	0.162	0.238
3400	0.051	0.185
3200	不爆	0.147
3000	不爆	不爆

2.3.3 不同粒度 HMX 飞片感度对比试验结果

用普通粉体炸药和亚微米 HMX 做冲击片起爆试验 (见表 4), 亚微米 HMX 的最低起爆电压为 2100V, 而普通粉体 HMX 的 50% 起爆电压为 2566.7V。

表 4 HMX 飞片感度试验结果

Table 4 Test data of HMX

起爆电压/V	钢凹深度/mm	
	普通粉体炸药 ($> 10\mu\text{m}$)	亚微米炸药 ($0.1 \sim 1\mu\text{m}$)
4000	0.260	0.392
3500	0.257	0.367
3000	0.239	0.341
2500	0.219	0.305
2100	不爆	0.266
2000	不爆	不爆

3 亚微米粉体炸药性能特点分析

3.1 撞击起爆机理分析

撞击感度试验表明, 亚微米粉体炸药较普通粉体炸药呈明显钝感趋势。除了已列出的 RDX 和 HMX 的数据, 对太安、六硝基的研究结果也与该结论一致。

对于粒度不同引起落锤感度变化的原因虽然早有研究, 但不同研究者结论不一致。有的研究者认为, 对于某些起爆药, 如叠氮化铅和雷汞, 晶体大小对撞击感度没影响。列依特曼认为, 许多硝基化合物由正常晶体过渡到 $14\mu\text{m}$, 他们的撞击感度没有显著变化; 列林斯切认为小晶粒的苦味酸比大晶粒的苦味酸撞击感度高^[1]。

有的研究者用空穴热点理论解释上述矛盾现象, 但由于在落锤撞击这种低频载荷条件下, 其加载过程可达几百毫秒, 加载速率很低, 所以靠绝热压缩形成热点是没有说服力的。

研究表明: 在炸药固体相内, 当其受到机械作用时, 炸药晶体的适当运动是形成局部高应力的重要条件。当这种情况出现时, 将可能引发突出的大晶粒的晶体碎裂, 当碎裂形成的飞散速度达到足够大时, 例如由 $0.05\mu\text{m/s}$ 变化到 1.2 km/s 时, 则样品可能产生爆炸。

而由于垂直于晶体表面和沿晶体表面方向的化学组成、结构和能量的变化, 使得晶粒表面张力与表面自由能呈不平等趋势, 所以几乎所有的实际晶体表面都存在不同程度的结构不完整性和组成不均匀性, 在一些表面能高的区域往往形成所谓的活性中心^[2], 成为炸药受撞击后起爆的点火点。显然, 这对于研究结晶炸药颗粒发生爆炸反应的微观机理是很重要的。

由于多数的大粒结晶体是小粒晶体的聚晶, 所以大粒晶体的结构不完整性和组成的不均匀性一般大于小粒晶体, 这就导致大粒晶体更易形成活性中心, 这可能是大粒晶体比小粒晶体敏感的主要原因。

另外, 许多多晶固体的表面是由不同结晶学取向的微晶构成的镶嵌结构, 这就在聚晶体中形成晶界和位错。晶界和位错存在时, 许多晶体发生腐蚀、吸附、活化的敏感区域^[2], 这也可能是炸药大晶体受撞击后优先反应的区域。

3.2 飞片起爆机理分析

冲击片起爆试验结果表明,亚微米粉体炸药的冲击片起爆(高压短脉冲)感度高于普通粉体炸药。从机理上考虑,因为爆轰的形成分两个阶段,一是点火,二是爆轰的成长。点火阶段主要是热点的形成阶段,因为本文中讨论的是高压短脉冲起爆感度,而这种激励具有压力脉冲峰值高、前沿陡的特点,所以不管是粗粉体还是细粉体炸药,在其内部都容易形成起爆热点。这样,炸药飞片感度的高低就取决于爆轰成长的难易程度,而亚微米粉体炸药具有超大的比表面积,有利于爆炸反应的发生和传播,使爆轰成长更容易,所以亚微米粉体炸药的高压短脉冲起爆感度要高于普通粉体炸药。

4 结 论

(1)当炸药粉体细化到亚微米时,其落锤撞击感度呈现明显降低的趋势。这一结果的意义在于,它预示了研究取得不敏感药剂的一个重要的技术途径。

(2)亚微米粉体炸药高压短脉冲起爆感度明显高于普通粉体炸药。把亚微米粉体炸药对常见环境力(一般的撞击、摩擦)钝感、而对特殊的激励(冲击片)敏感的特性叫做感度选择性。

(3)亚微米粉体炸药感度选择性以及在高密度条件下的爆轰更完全性对解决武器系统高安全性和高可靠性具有很好的应用前景。

参考文献:

- [1] 《炸药理论》编写组. 炸药理论[M]. 北京: 国防工业出版社, 1982: 242.
- [2] 顾惕人. 表面化学[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 211.

Selectivity of the sensitivity of the sub-micron explosive

ZHANG Jing-lin^{*}, Lǐ Chun-ling, WANG Jin-yü, TAN Ying-xin

(*Department of Environment and Safety Engineering, North China Institute of Technology,
Taiyuan 030051, Shanxi, China*)

Abstract: The contrast test of the sensitivity between coarse size and sub-micron size was done by both drop hammer tester and slapper initiating tester. The result shows that the sub-micron explosive is safe when it is motivated by a generic environmental force, such as impact force and friction force. And the reliability is improved when it is motivated by special environmental force, such as slapper, which is the selectivity of sensitivity of sub-micron explosive. In addition, the mechanism is discussed in theory. The sub-micron explosive has great foreground for application.

Key words: mechanics of explosion; sensitivity; detonation initiation; sub-micron explosive; impact sensitivity; slapper initiating sensitivity

^{*} Corresponding author; ZHANG Jing-lin Telephone: 0351-3922140