

文章编号: 1006-9941(2013)01-0061-03

Al 粉对 NEPE 推进剂感度的影响

程新丽, 赵孝彬, 李 军

(航天工业固体推进剂安全技术研究中心, 湖北 襄阳 441003)

摘 要: 研究了配方中 Al 粉含量和粒径对 NEPE 推进剂的撞击感度、摩擦感度和静电火花感度的影响。结果表明, 随配方中粒径为 $d_{50} = 90 \mu\text{m}$ 、 $41 \mu\text{m}$ 的 Al 粉含量增加、HMX 含量的降低和 Al 粉粒径的增加, NEPE 推进剂的摩擦感度降低, 静电火花感度升高, 而由粘合剂包覆的小粒径 Al 粉可使 NEPE 推进剂的静电火花感度降低。

关键词: 物理化学; NEPE 推进剂; 撞击感度; 摩擦感度; 静电火花感度; 铝粉

中图分类号: TJ55; O64

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2013.01.014

1 引言

金属燃烧剂是固体推进剂的重要组成部分之一, 金属燃烧剂可以提高推进剂的能量和密度。可用的金属燃烧剂有锂、铍、硼、镁、铝等。铝粉的密度高、耗氧量低、燃烧焓高, 可显著提高推进剂的比冲, 而且铝粉的来源丰富, 成本较低, 因此被广泛应用在推进剂和火炸药中。Al 粉在固体推进剂中的含量为 0~20%。对静电来说, Al 粉的导电性使得含铝推进剂对静电放电比较敏感。Al 粉的熔点(933 K)及硬度较高, 对推进剂的机械感度有一定影响。

关于 Al 粉对固体推进剂或火炸药安全性的影响, 国内外已开展了相应的研究工作。如 David 等^[1]通过差热-热重分析(TG-DTA)、差示扫描量热仪(DSC)和绝热加速量热仪(ARC)研究了不同粒径 Al 粉的热危险性, 研究表明 Al 粉的平均粒径及钝化层(活性铝的含量)对其热危险性影响较大。Kent 和 Rat^[2]研究表明, 当 Al 的含量不变而粒度减小(即 Al 粒子的数量增加)时, 推进剂对静电放电的敏感性增加。Langer 等^[3]研究表明, 水下炸药 RDX/GAP/Al/AP 在各组分含量不变, 只改变 Al 粉粒径时, 随着 Al 粉粒径的减小, 撞击感度和摩擦感度均升高。Covino 和 Hudson^[4]研究了含能材料静电危险性评估方法, 认为推进剂中 Al 含量越多, 介电常数越大, 静电越敏感。王彩玲等^[5]研究了 Al 粉含量对 RDX 炸药感度的影

响, 结果表明 Al 粉含量越多, 摩擦感度越低, 而撞击感度却随 Al 粉的加入呈非线性的变化; Al 粉含量较少时, 撞击感度增大, 当 Al 粉含量增至 10% 时, 撞击感度增至最大, 随后, 撞击感度随 Al 粉含量的增加呈明显降低趋势。王晨雪等^[6]的研究结果表明, HTPB 推进剂随着 Al 粉含量的升高, 击穿电压变小, 静电放电敏感性随之升高。党永战等^[7]研究了 Al 粉含量对含 Al 改性双基(CMDB)推进剂机械感度的影响, 表明有无 Al 粉以及 Al 粉的含量对推进剂撞击感度的影响很小; 而无 Al 粉配方的摩擦感度有较大变化, 但 Al 粉含量的变化对摩擦感度的影响很小。焦清介等^[8]测试了闪光烟火药剂的感度, 发现由铝粉配制的闪光烟火药剂对摩擦和冲击比较钝感, 而静电火花和火焰感度随着铝粉粒度的减小而增大。由此可知, Al 粉含量及粒径的变化对不同体系感度的影响规律不一致。

为了进一步研究 Al 粉对 NEPE 推进剂感度的影响, 本课题组通过改变 Al/HMX 的相对含量和 Al 粒径, 分析了 Al 粉对 NEPE 推进剂机械感度和静电火花感度的影响。

2 试验

2.1 试样制备

NEPE 推进剂的配方组成包括高氯酸铵(AP, $d_{50} = 135 \mu\text{m}$)、奥克托今(HMX, 200 目筛下物)、铝粉(Al $d_{50} = 90, 41, 32, 3 \mu\text{m}$)、聚乙二醇(PEG)、混合硝酸酯(NG/BTTN)、固化剂和功能助剂等。上述原材料均为工业品。

收稿日期: 2011-11-25; 修回日期: 2012-03-18

作者简介: 程新丽(1978-), 女, 工程师, 硕士, 主要从事固体推进剂及其原材料安全性能研究。e-mail: cxl623@126.com

NEPE 推进剂样品采用手混制成, 制备步骤为: 首先把功能助剂、固化剂及 N-15 粘合剂混合均匀后, 依次加入铝粉、AP、HMX 进行混合, 每添加一种固体填料, 均需要混合均匀后再加入另外一种填料, 待所有原材料添加完毕, 再继续手混药浆约 50 min, 然后进行感度测试。

2.2 感度测试

NEPE 推进剂撞击感度、摩擦感度、静电火花感度分别采用卡斯特落锤仪、摆式摩擦仪和静电火花感度测试仪进行测试, 执行标准分别为《复合固体推进剂撞击感度试验方法》(QJ3039-1998)、《复合固体推进剂摩擦感度试验方法》(QJ2913-1997)和《复合固体推进剂静电火花感度试验方法》(QJ1469-1998)。

3 结果与讨论

3.1 Al/HMX 相对含量对 NEPE 推进剂感度的影响

改变粒径为 90 μm Al 和 HMX 的相对含量, 设计了 4 个 NEPE 推进剂配方 (见表 1), 总固体含量为 70%, 固化参数为 1.5。各配方感度测试结果见表 1。

表 1 Al/HMX 相对含量对 NEPE 推进剂感度的影响

Table 1 Effects of Al/HMX relative content on the sensitivities of NEPE propellants

d_{50} (Al) / μm	Al content /%	HMX content /%	friction sensitivity /%	impact sensitivity /J	electrostatic spark sensitivity /mJ
90	24	30	16	7.94	44.2
	16	38	20	6.17	54.4
	6	48	88	5.88	83.7
	0	54	92	9.80	119.4
41	24	30	20	5.24	56.87
	17	37	44	5.64	71.66
	8	46	52	4.79	102.4
	4	50	52	5.00	102.8
	0	54	88	5.24	113.3

由表 1 可知, 随着 Al (90 μm) 粉含量的增加 (同时降低 HMX 的含量), 静电火花感度升高, 摩擦感度降低, 撞击感度规律不明显。为了验证此结论的正确性, 进一步研究了 41 μm 的 Al 粉和 HMX 的相对含量改变时对感度的影响。设计了 5 个 NEPE 推进剂配方 (见表 1), 总固体含量为 70%, 固化参数为 1.5。各配方对应的感度测试结果如表 1。

由表 1 可知, 41 μm 的 Al 粉含量越多 (同时 HMX 的含量越少), 摩擦感度越低, 静电火花感度越高, 撞击感度变化不大。除撞击感度外, 41 μm Al 粉含量变

化得到的结论与 90 μm 的 Al 粉含量变化得到的结论一致。因为在推进剂中, Al 粉相对 HMX 导电性较强, Al 粉含量越多, 推进剂的导电性越好, 对静电放电越敏感。Al 粉硬度大、光滑度较高, 当 Al 粉表面与 HMX、AP 接触时, 可有效降低 HMX、AP 因塑性变形而产生的粘性流动, 从而使摩擦系数降低, 减少了摩擦作用下热点产生的几率; 此外, Al 粉导热系数较高, Al 粉含量越多, 摩擦产生的热量越不易积聚, 热点越不易形成, 故随着 Al 粉含量的增加, 摩擦感度降低。

3.2 Al 粉粒径对 NEPE 推进剂感度的影响

在 NEPE 推进剂配方中, 各固体质量分数不变, 即 Al 粉 17%, AP 为 16%, HMX 为 37%, NG/BTTN/PEG 为 29.4%, 其他小组分为 0.6%, 只改变 Al 粉粒径, 设计了 4 个 NEPE 推进剂配方, 固化参数为 1.5。各配方对应的感度测试结果见表 2。由表 2 可知, 随着 Al 粉粒径的增大, 摩擦感度呈降低趋势, 撞击感度变化的规律不明显; 静电火花感度逐渐升高, 此结论与文献 [2] Kent 和 Rat 的研究结果相反, 分析原因可能为 Al 粉粒径越小, 粘合剂包覆 Al 粉效果越好, 而粒径较大的 Al 粉包覆效果相对较差, 在静电电压作用下, 导电性相对较好。为了验证此推测的正确性, 对不同粒径的纯 Al 粉以及 Al 粉与粘合剂的混合物 (质量比为 1 : 2) 测试其静电火花感度, 结果见表 3。

表 2 Al 粉粒径对 NEPE 推进剂感度的影响

Table 2 Effects of particle size of Al powder on the sensitivities of NEPE propellants

d_{50} / μm	friction sensitivity /%	impact sensitivity /J	electrostatic spark sensitivity /mJ
90	0	5.00	54.42
41	36	6.32	68.95
32	76	4.57	75.10
3	100	3.89	84.87

表 3 不同粒径的 Al 粉及 Al 粉与粘合剂混合后的 NEPE 推进剂静电火花感度

Table 3 Electric spark sensitivities of NEPE propellant containing Al powder with different particle sizes and Al/bind mixture

d_{50} / μm	electrostatic spark sensitivity /mJ	
	Al	Al/bind mixture
90	>585	51.49
41	-	59.27
32	301.8	67.27
3	333.5	112.40

由表 3 可知, 纯 Al 粉的静电火花感度随着 Al 粉

粒径的增大呈降低趋势；而 Al 粉与粘合剂混合后，静电火花感度随着 Al 粉粒径的增大逐渐升高，这表明粘合剂对不同粒径的 Al 粉包覆程度不同，粒径越小包覆效果越好，静电火花感度越低。

4 结 论

研究了 NEPE 推进剂配方中 Al/HMX 相对含量及 Al 粒径改变时对感度的影响，得到如下结论：

(1) 随着 Al 粉含量从 0 ~ 24% (同时降低 HMX 含量) 增加，NEPE 推进剂静电火花感度升高，摩擦感度降低。

(2) 随着 Al 粉粒径从 3 ~ 90 μm 增大，NEPE 推进剂摩擦感度降低。

(3) Al 粉粒径和 Al 粉含量改变时，NEPE 推进剂撞击感度的变化规律不明显。

(4) 粘合剂对 Al 粉起一定包覆作用，小粒径 Al 粉较大粒径 Al 粉包覆效果好，导致含有小粒径 Al 粉的 NEPE 推进剂配方静电火花感度降低，而含有大粒径 Al 粉的 NEPE 推进剂配方静电火花感度升高。

参考文献：

- [1] David E G Jones, Richard Turcotte, Queenie S M Kwok, et al. Comparative studies of the thermal hazards of aluminum nanopowders[J]. *Propellants, Explosive, Pyrotechnics*, 1990, 15: 1-7.
- [2] Kent R, Rat R. Static electricity phenomena in the manufacture and handling of solid propellants[J]. *Journal of Electrostatics*, 1985, 17: 299-312.
- [3] Langer G, Keicher T, Ehrhardt W, et al. The influence of particle size of AP and Al on the performance of underwater explosives [C]//Proc. 34th Int Annu Conf of ICT, 2003: 12-1-12-16.
- [4] Covino J, Hudson F E. Current assessment methodology for electrostatic discharge hazards of energetic materials[J]. *Journal of Propulsion and Power*, 1991, 7(6): 897-898.
- [5] 王彩玲, 陈松, 赵省向, 等. Al 粉对 RDX 机械感度的影响[J]. *火工品*, 2010(1): 32-34.
WANG Cai-ling, CHEN Song, ZHAO Sheng-xiang, et al. Influence of Al power on mechanical sensitivity of RDX[J]. *Initiators & Pyrotechnics*, 2010(1): 32-34.
- [6] 王晨雪, 赵孝彬, 李军. 复合固体推进剂静电安全影响因素研究 [C]//中国宇航学会第二十七届年会, 2010: 50-57.
- [7] 党永战, 刘芳莉, 王晗, 等. 含铝粉的 CMDB 推进剂机械感度和静电火花感度研究 [C]//第二届固体推进剂安全技术研讨会, 2009: 98-101.
- [8] 焦清介, 马少华, 常非, 等. 铝粉的粒度和形状对闪光剂感度的影响[J]. *火工品*, 2003(2): 31-33.
JIAO Qing-jie, MA Shao-hua, CHANG Fei, et al. Influence of aluminum shape and size on sensitivity of pyrotechnic flash composition[J]. *Initiators & Pyrotechnics*, 2003(2): 31-33.

Effect of Al on Sensitivity of NEPE Propellant

CHENG Xin-li, ZHAO Xiao-bin, LI Jun

(Research Center of Solid Propellant Safety Technology of Aerospace Industry, Xiangyang 441003, China)

Abstract: The effects of the content and particle size of Al powder in formulation on the impact sensitivity, friction sensitivity and electrostatic spark sensitivity of NEPE propellant were studied. Results show that with increasing the content of Al powder with particle sizes of $d_{50} = 90 \mu\text{m}$ and $41 \mu\text{m}$, decreasing the content of HMX in formulation and increasing particle sizes of Al powder, the friction sensitivities of NEPE propellant become lower and electrostatic spark sensitivity was enhanced. The Al powder with smaller particle sizes coated by binder makes the electrostatic spark sensitivities of NEPE propellant lower.

Key words: physical chemistry; NEPE propellant; impact sensitivity; friction sensitivity; electric spark sensitivity; aluminium

CLC number: TJ55; O64

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2013.01.014