

文章编号: 1006-9941(2007)02-0162-03

强闪光烟火药过载能力的实验研究

霸书红^{1,2}, 焦清介¹, 任慧¹, 张庆利¹

(1. 北京理工大学爆炸科学与技术国家重点实验室, 北京 100081;

2. 沈阳理工大学环境与化工学院, 辽宁 沈阳 110168)

摘要: 采用大落锤冲击装置模拟研究了强闪光烟火药的过载能力。实验结果表明: 强闪光烟火药在装药密度为 $1.9 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 实验加载应力 653 MPa, 装药长度为 40 mm 时承受的过载为 $8.59 \times 10^5 \text{ g}$ ($g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$); 在加载应力小于 653 MPa 范围内, 强过载产生的热点不能引燃该强闪光药柱。原因可能是(1) 强闪光烟火药中氧化剂的热分解温度和可燃物的着火点很高, 难以诱发反应; (2) 装药质量得到很大改善, 热点产生源减少; (3) 压药过程使得 KClO_4 和铝粉的接触面积增大, 热点源产生的热量可以通过金属颗粒较迅速向其周围传递, 以致热点熄灭。

关键词: 军事化学与烟火技术; 强闪光烟火药; 装药; 过载能力; 模拟实验

中图分类号: TJ413. *7

文献标识码: A

1 引言

与烟火燃烧剂、烟幕剂相比, 强闪光烟火药^[1]要求装药整体爆燃(即要求全部烟火药剂在微秒或毫秒级时间内充分反应, 释放出全部能量), 药剂机械感度相对较高, 装药密度较低, 因此人们通常认为其过载能力差。目前对炸药装药过载能力研究的报道较多^[2-5], 但对强闪光烟火药的相关研究未见报道。本文采用大落锤冲击装置模拟火炮发射实验, 对同种装药条件下(装药密度、装药结构、装药尺寸、宏观缺陷等相同)的压装强闪光烟火药药柱进行了大落锤冲击实验研究, 在此基础上对强闪光烟火药装药的过载能力进行了评价, 为该药剂的实际应用提供了依据。

2 实验

2.1 试样制备

2.1.1 强闪光烟火药的制备

强闪光烟火药主要由 KClO_4 、Al 和 3% 粘合剂组成。为了降低该药剂的撞击感度, 通过外混法加入少量感度调节剂, 强闪光烟火药制备工艺如图 1 所示。

2.1.2 药柱的制作

将强闪光烟火药用压药机直接压制成成品药柱, 药柱尺寸为 $\Phi 40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$, 压药密度为 $1.9 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 然后把此药柱装入大落锤加载装置中进行实验。

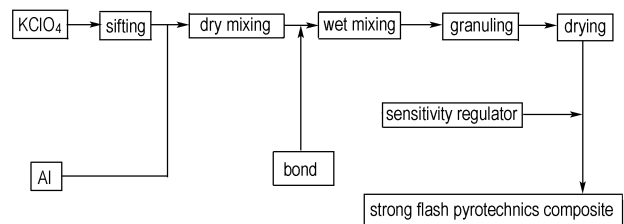


图 1 强闪光烟火药制备工艺

Fig. 1 Preparation process of strong flash pyrotechnic composite

2.2 大落锤加载装置及测试系统

2.2.1 大落锤加载装置

大落锤加载装置如图 2 所示, 其中落锤重 400 kg, 落锤的最大提升高度(落高)4 m, 落锤的下落过程近似于自由落体运动。该冲击装置 400 kg 的重锤由 4 m

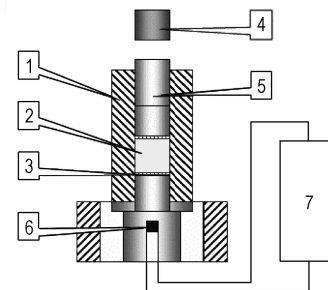


图 2 大型冲击加载装置示意图

1—套筒, 2—装药, 3—塑料垫, 4—落锤,
5—活塞, 6—应变传感器, 7—数采系统

Fig. 2 Sketch map of large impact loading apparatus

1—cylindrical sleeve, 2—loading, 3—plastic seal, 4—drop hammer,
5—piston, 6—strain sensor, 7—data acquisition systems

收稿日期: 2006-05-16; 修回日期: 2006-07-05

作者简介: 霸书红(1970-), 男, 在读博士, 从事含能药剂与材料化学研究。e-mail: bashuhong@bit.edu.cn

以下任意高度自由下落,能产生加载幅值最大可达 1.5 GPa,加载时间可控制在 5 ms 以内,最大应力率为 300 MPa · ms⁻¹。实验药柱的尺寸为 Φ40 mm × 40 mm,压药密度为 1.9 × 10³ kg · m⁻³,重约 0.09545 kg。

2.2.2 测试系统

测试系统框图如图 3 所示,实验过程中采用综合误差小于 2% 的应变式压力传感器,主要测试模拟弹中被测药剂所受的应力,然后根据所测应力值计算出被测件所受的相应过载。采用该系统可以模拟 (0 ~ 1.5 × 10⁵ g) 的过载, g = 10 m · s⁻²。

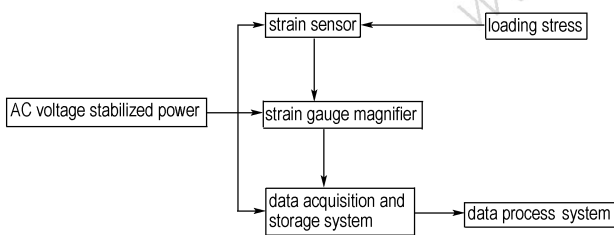


图 3 模拟实验测试系统

Fig. 3 Measurement system for simulating experiment

3 测试结果及分析

3.1 药柱内应力的测试

本实验采用图示应变式压力传感器测定的应力作为药柱试样内应力,当落锤落高为 1.8 m 时,实测内应力曲线如图 4 所示,由于所有曲线类同,其它曲线从略。根据实测 σ-t 曲线得到药柱应力峰值及上升时间,结果见表 1。测试药柱的尺寸为 Φ40 mm × 40 mm,压药密度为 1.9 × 10³ kg · m⁻³,装药缺陷特征为无底隙,在实验加载应力下所有烟火药柱均未发生爆燃。

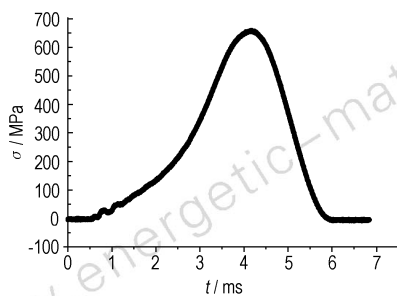


图 4 落高为 1.8 m 时模拟实验测定的 σ-t 曲线

Fig. 4 σ-t curve of simulating experiment at drop height of 1.8 m

3.2 药柱过载能力的计算与分析

为了模拟弹药装药在发射过程所受到的过载,在此假设药柱在落锤作用下受到的作用力为 F,那么,根据牛顿第二定律,则有:

$$F = ma = \rho A h a \quad (1)$$

$$\sigma = F/A = \rho h a \quad (2)$$

$$a = \sigma / \rho h \quad (3)$$

设过载为 n,则

$$n = a/g = \sigma / \rho g h = \sigma / 10 \rho h \quad (4)$$

式中, F 为作用在药柱上的冲击力, N; a 为加速度, m · s⁻²; A 为药柱的横截面积, m²; ρ 为装药密度, kg · m⁻³; h 为药柱长度, m; σ 为加载应力, MPa; n 为过载,以 g = 10 m · s⁻² 为单位。

根据实测 σ-t 曲线,对于装药长度 40 mm 的药柱通过如上计算即可得到药柱承受的过载,计算结果见表 1。由实验现象和表 1 结果可以看出,在加载落高 1.8 m,装药密度 1.9 × 10³ kg · m⁻³,实验加载应力为 653 MPa 的实验条件下,长度为 40 mm 的强闪光烟火药柱能承受很高的过载,说明该药柱装药的抗冲击加载的能力较强。

表 1 强闪光烟火药柱内应力测定结果

Table 1 Results of inner stress of strong flash pyrotechnic composite

No.	H/m	σ _{max} /MPa	t/ms	n/g
1	0.10	50.6	4.34	6.66 × 10 ⁴
2	0.15	54.6	3.98	7.18 × 10 ⁴
3	0.20	68.1	4.96	8.96 × 10 ⁴
4	0.25	76.7	4.73	1.01 × 10 ⁵
5	0.30	120	4.58	1.58 × 10 ⁵
6	0.35	136	4.89	1.79 × 10 ⁵
7	0.45	163	4.79	2.14 × 10 ⁵
8	0.55	188	4.33	2.47 × 10 ⁵
9	1.00	354	4.00	4.66 × 10 ⁵
10	1.80	653	3.47	8.59 × 10 ⁵

Note: g = 10 m · s⁻²

在实际应用中,只要知道了实弹的装药长度,根据公式(4)就可以计算出强闪光烟火药配方的过载。对于火箭弹,当装药长度取 h = 395 mm 时,按实验加载应力为 653 MPa 可以根据式(4)计算得出过载 n = 8.7 × 10⁴ g。

对于迫击炮弹,当装药长度取 h = 292 mm 时,根据式(4),可得出过载 n = 11.8 × 10⁴ g。

虽然实验药柱可能存在缩孔、气孔、裂纹等疵病,在加载过程中会产生很大的绝热压缩,但未能引起强闪光烟火药爆燃;当实验加载应力为 653 MPa 时,未爆药柱的高度从 40 mm 下降到 30.3 mm,药柱高度下降了 25%,产生较大摩擦,也未能引起爆燃。由此可见,即使装药存在疵病,当其受强过载时也不能引爆闪光药柱,表 1 的实验结果及实验现象表明:在加载应力小于 653 MPa 范围内,强过载产生的热点不能引爆

该强闪光药柱。

产生高过载的原因可能三个：一是该强闪光烟火药中 KClO_4 的理论分解温度是 $610\text{ }^\circ\text{C}$ ，Al 的着火点大于 $800\text{ }^\circ\text{C}$ ^[6]，药柱中装药疵病受强过载应力作用时产生的热点不足以引起氧化剂的热分解和可燃物发火燃烧，所以烟火药剂爆燃转爆轰不能发生；二是随强闪光烟火药装药密度的加大，压装药柱中缩孔、气孔、裂纹和分层等装药疵病得到很大程度改善且分布较为均匀，从而使热点产生源减少，局部热点的强度减弱，因此也不能引燃强闪光烟火药；三是造粒后强闪光药剂的主要热点产生源是被粘合剂包裹的 KClO_4 颗粒^[7]。压药过程中，强闪光烟火药中 KClO_4 在加载应力下易破碎，使得 KClO_4 和铝粉的接触面积增大，（散装药中粒度小的铝粉粘附在粒度大的 KClO_4 颗粒表面且分布不均匀，铝粉和 KClO_4 的接触面积小），这样热点源产生的热量通过金属颗粒较迅速向其周围传递，进而熄灭热点，强闪光烟火药同样难以引燃。

4 结 论

(1) 强闪光烟火药在装药密度 $1.90 \times 10^3\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ，实验加载应力 653 MPa ，装药长度为 40 mm 时，装药能够承受较大的过载，其过载为 $8.59 \times 10^5\text{ g}$ ($g = 10\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)。

(2) 在加载应力小于 653 MPa 范围内，强过载产生的热点不能引燃该强闪光药柱。

参考文献：

- [1] 常非. 烟火剂爆燃闪光辐射研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2002.
CHANG Fei. Studies on the flash radiation by pyrotechnic deflagration [D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2002.
- [2] 王淑萍. 撞击作用下炸药装药的尺寸效应研究[J]. 火炸药学报, 2000, 23(4): 18-20.
WANG Shu-ping. Study on size effect of projectile filling under the impact [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2000, 23(4): 18-20.
- [3] 马宏伟, 姚保学. 炸药装药发射安全性模拟实验方法研究[J]. 弹道学报, 2004, 16(4): 57-61.
MA Hong-wei, YAO Bao-xue. Experimental simulation methods for launching security of explosive charge[J]. *Journal of Ballistics*, 2004, 16(4): 57-61.
- [4] 王世英, 胡焕性. 炸药装药工艺对发射安全性的影响[J]. 火炸药学报, 2003, 26(1): 20-22.
WANG Shi-ying, HU Huan-xing. The effect of different charging processes on the launch safety [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2003, 26(1): 20-22.
- [5] 王世英, 胡焕性. B 炸药装药发射安全性落锤模拟加载实验研究[J]. 爆炸与冲击, 2003, 23(3): 275-278.
WANG Shi-ying, HU Huan-xing. Drop hammer simulation study on launch safety of composite B [J]. *Explosion and Shock Waves*, 2003, 23(3): 275-278.
- [6] 潘功配, 杨硕. 烟火学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1997.
- [7] JIAO Qing-jie, BA Shu-hong, MA Shao-hua. Experimental study on sensitivity of pyrotechnics containing KClO_4 and Al and macromolecule polymer [A]. In: WANG Yajun, HUANG Ping, LI Shengcai, eds. *Progress in Safety Science and Technology* [C], Beijing: Science Press, 2004. 3014-3018.

Experimental Study on Over-loading of Strong Flash Pyrotechnic Composite

BA Shu-hong^{1,2}, JIAO Qing-jie¹, REN Hui¹, ZHANG Qing-li¹

(1. State Key Laboratory of Explosion Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. School of Environmental and Chemical Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang 110168, China)

Abstract: Over-loading of strong flash pyrotechnic composite was studied by using drop hammer simulation device. The experimental results show that strong flash pyrotechnic composite has high over-loading ability. When charges density was $1.9 \times 10^3\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, loading stress was 653 MPa , loading length was 40 mm , loading of strong flash pyrotechnic composite was $8.59 \times 10^5\text{ g}$ ($g = 10\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$). When loading stress was more than 653 MPa , the hotspots produced by strong over-loading couldn't ignite strong flash pyrotechnic composite. The reasons that strong flash pyrotechnic composite has high overloading ability are (1) thermal decomposition temperature of oxidant and ignition temperature of combustible are very high in pyrotechnic composite, the pyrotechnic reaction cannot be induced by hotspots; (2) charge flaws of pressed flash pyrotechnic composite are better improved and hotspot generation source is reduced. (3) the contact areas between KClO_4 and Al are increased when strong flash pyrotechnic composite is extruded into pillar, so heat produced by hotspot generation source can rapidly be transmitted through metal particle, furthermore, hotspot is extinguished.

Key words: military chemistry and pyrotechnic technology; strong flash pyrotechnic composite; charge; over-loading ability; simulating experiment