

文章编号: 1006-9941(2008)03-0277-03

硝胺类烟火输出药的设计与性能研究

蒋新广, 李国新, 王志新, 劳允亮

(北京理工大学爆炸科学与技术国家重点实验室, 北京 100081)

摘要: 为使硝胺类输出药获得较好的点火性能, 在配方中添加点火能力强的苦味酸钾制成混合药剂, 设计了三种配方, 并进行了点火性能试验, 得到点火延迟期分别为 1.79, 2.11, 3.05 ms。结果表明, 加入苦味酸钾可以缩短输出药点火延迟期和压力上升时间。由最小自由能原理计算和密闭爆发器试验, 得到三种配方的火药力和压力冲量都在 544 kJ·kg⁻¹ 和 4 kPa·s 左右, 表明组分中硝胺含量保持 10% 不变, 改变苦味酸钾含量, 药剂的作功能力变化不大。

关键词: 爆炸力学; 硝胺类火药; 苦味酸钾; 点火性能; 作功能力

中图分类号: TJ55; TQ562; O389

文献标识码: A

1 引 言

随着各种高速武器的发展, 对短脉冲作功器件所用输出药的输入和输出性能提出了更高的要求。要求药剂容易点火、点火延迟期短, 压力上升时间快, 并且能在有限的空间内用有限的药量产生较大的作功能力。已有的含黑索今的硝胺类火药的比冲较高, 作功能力有很大提高, 但存在低压点火难的问题^[1]。虽然有的研究者在硝胺类火药中加入点火添加剂^[2] 或多孔性物质和硝基胍等改善了硝胺类火药的点火性能, 但是点火延迟期仍是十几到几十毫秒^[3-4]。为此, 本课题组在选定的点火装药结构的基础上, 设计了一种含苦味酸钾的硝胺类烟火型的输出药剂, 并对其点火性能和作功能力进行了研究。

2 配方设计

在选定的点火装药结构的基础上, 设计了一种硝胺类(含 RDX 或 HMX)烟火输出药, 能实现点火延迟期短, 压力上升快, 压力峰值高的目的。经过试验比较, 优选输出药的组分为苦味酸钾、黑索今和硝化棉。以上三种组分在输出药中的功能各不相同。

苦味酸钾(KP)是一种点火性能良好的点火药和单体延期药, 有较高的火焰感度, 50% 发火感度 38 cm, 容易被点火药点燃^[5]。在硝胺类火药中加入高火焰感度的苦味酸钾, 为解决在低压下点火难的问题提供新的途径。苦味酸钾的含量对缩短点火延迟期有重要影响。

黑索今(RDX)是杂环硝胺炸药, 含硝胺的火药具

有燃温低、燃气产物相对分子量低、比冲高、腐蚀性小和烟雾少等优点, 既能提高推进剂能量, 又能降低烧蚀和毒性^[6]。RDX 中不含氯原子而有大量的氮, 燃烧生成的 N₂ 是无烟推进剂的理想成分。RDX 有正的生成焓, 气体生成量也很高, 为提高推进剂能量和减少烟雾, 可适当增加 RDX 的含量。但在某种条件下, RDX 含量与火药能量并不成正比关系^[7]。

硝化棉(NC)是火药主要的能量组分之一, 能产生大量的燃烧气体产物, 加入硝化棉可改善药剂的力学性能。

依据最小自由能原理^[8] 计算得到, 这三种组分的火药力分别为: 苦味酸钾为 461.81 kJ·kg⁻¹, 黑索今为 1127.78 kJ·kg⁻¹, 硝化棉为 797.04 kJ·kg⁻¹。由此可知, 加入苦味酸钾后, 在点火性能得到改善的同时, 火药的输出能量会降低。因此各组分的含量就要根据应用背景综合考虑, 如果应用于慢速、要求高能量的输出则减少 KP 的量, 增加 RDX/NC 的量; 反之如果应用在短脉冲、低能量的输出, 则可以增加 KP 的量而减少 RDX/NC 的量。

本研究中, 药剂应用于某种新型短脉冲输出作功器件, 要求能在短时间内多个器件连续作用, 因此药剂配比选定为高 KP 含量。

根据三种组分各自的性能, 制备出三种配比的药剂。其组成见表 1。

表 1 三种不同配比药剂

Table 1 Three different compositions

No.	composition/%		
	KP	RDX	NC
1 [#]	86	10	4
2 [#]	82	10	8
3 [#]	78	10	12

收稿日期: 2007-10-31; 修回日期: 2008-01-23

基金项目: 国家安全重大基础研究(513390303)项目基金资助

作者简介: 蒋新广(1978-), 男, 在读博士研究生, 研究方向为新型药剂研究。e-mail: xgjiang.78@163.com

3 药剂的点火性能

药剂的点火性能是衡量药剂的一个重要指标。在短脉冲输出作功器件中,要求药剂快速点火,点火延迟期短,并快速达到稳定输出。在以 0.009 mm Ni-Cr 桥丝电引火头为发火元件(微秒量级),点火药采用硼/硝酸钾条件下,对设计的三种不同配比药剂的点火性能进行了对比试验,测试了三种药剂的典型 $p-t$ 曲线,如图 1 所示。

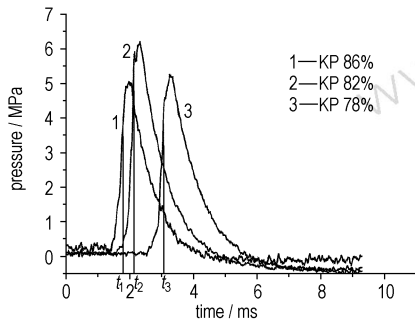


图 1 点火试验压力曲线
Fig. 1 $p-t$ curves of ignition test

点火延迟期一般定义为从输入电压信号到出现第一个火焰的时间间隔。但在工程上通常规定燃烧室内压力达到最大压力的 75% 以上所需的时间。三种配比药剂的点火延迟期分别为: $t_1 = 1.79$ ms, $t_2 = 2.11$ ms, $t_3 = 3.05$ ms。压力上升时间是指从初始压力到最大压力的时间间隔,其值分别为: $t_{\pm 1} = 0.67$ ms, $t_{\pm 2} = 0.72$ ms, $t_{\pm 3} = 0.76$ ms, 随药剂中苦味酸钾含量的减少而增大。引起点火延迟期长短变化的主要原因是药剂中苦味酸钾含量不同。由于苦味酸钾的火焰敏感度敏感,点火药产生的高温火焰加热火药表面,使输出药组分中的苦味酸钾首先被点着并燃烧产生高温燃烧气体和灼热固体颗粒。释放的热量中有一部分提供给处于吸热熔融阶段的 RDX 所需的热量,其余部分则用于药体继续升温。随着热分解反应速度的加快,释放的热量越来越多。当燃烧室内温度和压力达到一定值时,部分熔融的 RDX 气化,并在气相中开始进行分解。此时燃烧达到稳定,药剂被全面点燃。由于 RDX 的高能量性能,因此放出大量的热,燃气压力增加很快。

4 药剂作功能力

4.1 理论计算

应用最小自由能原理^[8]计算三种配比药剂的输出性能,计算结果见表 2。

4.2 试验对比研究

将三种配比药剂在小型密闭试验装置内作燃烧性

能试验。实验装置结构如图 2 所示。

其中装药直径为 6 mm,主装药长度为 12 mm,试验装置燃烧室的总容积为 3 cm³,每次试验的装药量为 468 mg,密度为 1.38 g·cm⁻³,采用选定的点火结构。每种配方做三发试验,测试三种药剂典型的 $p-t$ 曲线,1[#]配方的典型 $p-t$ 曲线如图 3 所示。

表 2 三种药剂输出性能计算结果

Table 2 Calculation results of three compositions' output performance

No.	1 [#]	2 [#]	3 [#]
powder force/kJ·kg ⁻¹	532.53	544.02	555.316
percent of burning gas	0.795	0.805	0.816

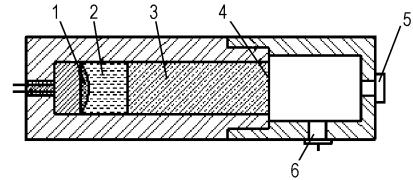


图 2 试验装置示意图

1—点火头, 2—点火药, 3—主装药,
4—膜片, 5—压力传感器, 6—堵头

Fig. 2 Sketch of test device

1—ignition head, 2—ignition composition, 3—main charge,
4—patch, 5—pressure sensor, 6—stopper

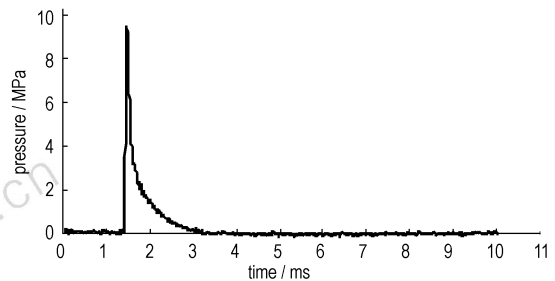


图 3 1[#]配方的 $p-t$ 曲线

Fig. 3 $p-t$ curve of formulation 1[#]

由 $p-t$ 曲线的峰值可以得到三种配方的最大压力,结果见表 3。由表 3 可以看出: 三种配方的最大压力值比较接近,计算三种配方 $p-t$ 曲线下的积分值即压力冲量可以衡量输出药剂的作功能力,结果见表 4。

由表 2~表 4 可见,三种配方输出药的作功能力比较接近。药剂中 RDX 含量保持不变,只改变 KP 和 NC 的含量,保证了在调节点火延迟期的同时,药剂的输出作功能力变化不大。从计算和试验结果可知,配方 1 的作功能力小于配方 2 和配方 3,其主要原因是: 苦味酸钾的分解温度高,硝化棉的分解温度低,苦味酸钾含量增多,硝化棉含量减少时,导致整个药剂在点火初期的

分解气体量减少。在低压下,苦味酸钾分解产物中的固体含量增多,要消耗更多的C,N,O元素,从而使气体量也减少。苦味酸钾分解后的燃气温度为1799 K,而硝化棉的燃气温度为2299 K,苦味酸钾含量提高(配方1),导致整个药剂的燃气温度下降,从而作功能力有所降低。

表3 三种配方试验最大压力

Table 3 Maximum pressures of three compositions MPa

No.	test numbers			average
	1	2	3	
1 [#]	9.54	8.97	8.97	9.16
2 [#]	9.91	10.1	9.44	9.82
3 [#]		10.1	9.54	9.82

表4 三种配方压力冲量

Table 4 Integral values of three compositions' $p-t$ curves kPa · s

No.	test numbers			average
	1	2	3	
1 [#]	3.36	3.39	3.68	3.48
2 [#]	4.23	4.09	4	4.11
3 [#]		4.35	4.4	4.33

5 结论

(1) 以硝胺类炸药RDX为氧化剂,苦味酸钾为可燃剂,硝化棉为粘合剂,按照烟火药剂的混制方法制备出硝胺类烟火输出药。苦味酸钾具有较高的火焰感度可以改善该类药剂的点火性能,使点火延迟期大大缩短并能快速达到稳定输出。苦味酸钾含量增大,点火延迟期减小,压力上升前沿的时间加快。

(2) 通过计算和试验比较,固定RDX的含量为10%时,三种药剂配方的作功能力相差不大,保证了药剂在应用中要求的一致性。当苦味酸钾含量大时,作功能力稍小一些。因此,可以根据应用背景的实际要

求,综合考虑点火延迟期和作功能力两方面指标,确定适合的硝胺类烟火输出药的组分配比。

参考文献:

- [1] Hsieh W H, Li W Y. Combustion behavior and thermochemical properties of RDX-based solid propellants [J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 1998(23): 128-136.
- [2] 杜成中,李丽,李先. 适用于硝胺发射药的点火药[J]. *火炸药学报*, 2002(3): 69-72.
DU Cheng-zhong, LI Li, LI Xian. Ignition agents suitable for nitramine propellants [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2002(3): 69-72.
- [3] Luigi De Luca, Fabio Cozzi, Gianfranco Germiniasi. Combustion mechanism of an RDX-based composition propellant [C] // The International Seminar on High Energy Materials, India, 1996. 19-21.
- [4] 张江居. 硝胺发射药燃速曲线研究[J]. *含能材料*, 1996, 4(3): 97-100.
ZHANG Jiang-ju. Study on burning rate curves of some nitramine propellants [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 1996, 4(3): 97-100.
- [5] 盛涤伦, 马凤娥. 苦味酸钾的合成、性能及其应用[J]. *含能材料*, 2004, 12(2): 93-96.
SHENG Di-lun, MA Feng-e. Preparation, properties and applications of potassium picrate [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2004, 12(2): 93-96.
- [6] 阳建红, 徐景龙, 刘朝丰, 等. 硝胺推进剂燃烧性能研究[J]. *上海航天*, 2004(1): 48-51.
YANG Jian-hong, XU Jing-long, LIU Chao-feng, et al. A study of combustion characteristics of nitramine propellants [J]. *Aerospace Shanghai*, 2004(1): 48-51.
- [7] 涂永珍, 王朝珍. 含硝胺(RDX)丁羟推进剂燃烧性能研究[J]. *固体火箭技术*, 1995, 18(2): 24-30.
TU Yong-zhen, WANG Chao-zhen. A study of combustion characteristics of RDX/HTPB propellant [J]. *Journal of Solid Rocket Technology*, 1995, 18(2): 24-30.
- [8] 刘继华. 火药物理化学性能[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1997.

Design and Performance of Nitramine Pyrotechnics Composition

JIANG Xin-guang, LI Guo-xin, WANG Zhi-xin, LAO Yun-liang

(State Key Laboratory of Explosion Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: In order to obtain good ignition performance of the nitramine propellant, certain amount of potassium picrate with strong ignition ability was added. Three compositions with different formulations were designed, and their ignition performances were tested. The results show that the ignition delayed time of them were 1.79, 2.11 and 3.05 ms respectively. The potassium picrate in the formula can help to reduce the ignition delayed time and pressure rise time. Some characteristic parameters of actuated ability of three compositions were theoretically calculated according to the least free energy law and again verified by closed burner tests. It is obtained that different compositions have almost the same values of powder force and pressure impulse with $544 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $4 \text{ kPa} \cdot \text{s}$ respectively if the content of nitramine in each composition is maintained to be 10%.

Key words: explosion mechanics; nitramine propellant; potassium picrate; ignition performance; actuated ability