

文章编号:1006-9941(2009)02-0222-03

短脉冲推冲器点火性能的实验研究

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:为了找出点火药量对短脉冲推冲器点火过程的影响规律及选择优化匹配的点火药量,选定 B/KNO_3 和黑火药混合物作为点火药,采用模拟试验装置,测量得到不同点火药量情况下的压力-时间曲线。结果表明,随点火药量增大,点火延迟时间由 1.48 ms 降到 1.06 ms,压力上升时间由 0.37 ms 降到 0.16 ms,工作时间在 1 ms 左右变化。结果表明,增大点火药量可以降低点火延迟时间和压力上升时间。通过与性能目标值比较,选择 80 mg 点火药为较佳匹配。

关键词:爆炸力学;短脉冲推冲器;点火药量;点火性能

中图分类号:TJ45; V435

文献标识码:A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2009.02.023

1 引言

短脉冲推冲器用于快速修正导弹和火箭的飞行弹道,以便准确命中目标。由于其工作时间短,压力上升速率快,使得内弹道性能对各种设计参数非常敏感^[1]。稳定点火是小型脉冲推冲器的关键技术之一,要求点火药剂尽可能缩短点火延迟期并能建立起稳定的压强-时间($p-t$)曲线。点火药量与主装药量的比值较大;点火药的少量变化对于内弹道性能的影响很大;张平等^[1]从输出性能角度对点火药量对微型脉冲推力器内弹道性能的影响进行了试验研究,在研究中发现,这种推冲器的点火有如下显著特点:主装药承受的点火冲击很大;指出点火药量的少量变化会对推力器的 $F-t$ 曲线的形状和内弹道性能产生较大影响。周海清^[2]针对点火启动过程进行了建模与分析,指出以往的点火药量计算方法^[3]不适用于这种微型脉冲推力器,根据计算结果给出了微型脉冲推力器点火药量选择范围。孙丕忠^[4]对微小固体火箭发动机的点火特性进行了试验研究,指出了影响点火延迟时间的主要影响因素之一为点火药量。但对微小点火区域内点火界面附近的压力变化过程没有试验研究。本文对小区域点火空间中点火过程进行了实验研究,根据点火阶段的压强-时间曲线确定合适的点火药量。

2 试验条件

采用放大的模拟实验装置测试 $p-t$ 曲线以获得推

冲器的内弹道性能,测试装置如图 1 所示。模拟装置的内部装药结构和尺寸与推冲器完全相同,只是壳体壁厚增加便于安装压力传感器。压力传感器采用压电式压力传感器,具有响应频率高,测量范围宽的特点,安装位置位于点火药与主装药的界面附近,能够准确测量整个过程压力变化。后面接电荷放大器和示波器,接通点火电路,电点火头点燃点火药,然后点燃主装药,腔内压力达到一定值后,堵片破裂。由压力传感器感受 $p-t$ 信号,经放大和数据处理后由计算机输出结果。主装药为新研制的硝酸类烟火型输出药,该种药剂能改善硝酸类火药低压下点火难的问题,提高了点火可靠性^[5]。选定的点火结构为 0.009 mmNi-Cr 桥丝电引火头为发火元件(微秒量级),其发火熔断时间散布极小。

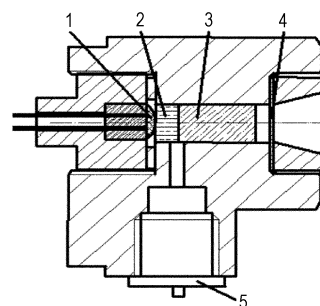


图 1 试验装置示意图

1—点火头, 2—点火药, 3—主装药,
4—膜片, 5—压力传感器

Fig. 1 Sketch of test device

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

试验所用的点火药为 B/KNO_3 和黑火药的混合点

收稿日期:2008-06-27;修回日期:2008-12-16

基金项目:国家安全重大基础研究(513390303)

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

火药。硼系点火药是常见的高能点火药,它具有较大的燃烧热和燃烧残渣量,但由于产气量较小,难以形成足够大的点火压力,因此难以迅速点燃某些烟火药和推进剂。而黑火药具有火焰感度高、点火压力大等优点,但其燃烧热和固体残渣较小,故点火能力较弱。如果在硼点火药中加入适量的黑火药,则有望得到既具有较大的点火压力,又具有较大的燃烧热和较多的固体残渣的点火药,从而改善其点火能力^[6]。因此选用B/KNO₃和黑火药混合点火药。根据文献^[6],B/KNO₃和黑火药的比例为70/30时点火效果最好,因此本文选用该比例的点火药,并与其他两种点火药进行了对比试验(见图2)。由图2可见,B/KNO₃和黑火药的混合点火药的点火延迟时间比其他两种点火药要短,燃烧室最大压力最高,点火效果最好。

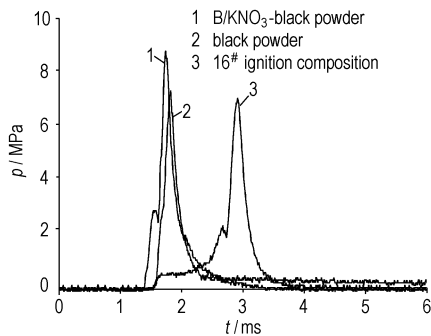


图2 不同种类点火药对比

1—B/KNO₃和黑火药的混合点火药,
2—黑火药,3—16#点火药

Fig.2 Comparison of different ignition compositions

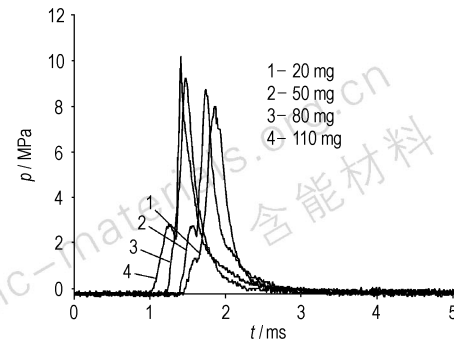
1—B/KNO₃-black powder, 2—black powder,
3—16# ignition composition

3 结果和讨论

试验分四次,采用相同的试验装置,相同的主装药(主装药量为380 mg)和相同厚度的堵片,每次所用的点火药量分别为20 mg,50 mg,80 mg和110 mg。每次试验平行做两发。

四次试验的典型 $p-t$ 曲线和每一次试验的内弹道参数的统计结果如图3和表1所示。显然,点火期间的压力曲线(或称过渡特性),不仅表示点火延迟时间,压力上升时间,压力上升速率,还表示整个过程的作用时间,它能全面表征推冲器的点火性能^[7]。其中点火延迟时间规定是从给出点火信号到压力上升到最大压力的1%的时间间隔。压力上升时间是从1%最大压力到压力达最大值的时间间隔。工作时间是从压力上升曲线上的1%峰值压力到压力下降曲线上的

10%峰值压力的时间。

图3 不同点火药量时推力器的典型 $p-t$ 曲线Fig.3 $p-t$ curves of different ignition composition amounts表1 各次试验 $p-t$ 曲线的特征参数Table 1 Characteristic parameters of different test's $p-t$ curves

performance parameter	target value	20 mg	50 mg	80 mg	110 mg
ignition delayed time/ms	1.2	1.48	1.41	1.25	1.06
pressure increasing time/ms	0.2	0.37	0.32	0.16	0.41
action time/ms	1.0	0.90	0.97	0.96	1.16

表1中数据为两发平行试验取平均值。比较图3四次试验 $p-t$ 曲线可以发现,点火药量的少量(毫克级)变化会使推冲器内弹道曲线的形状产生明显变化。

由于推冲器尺寸小、响应快和短脉冲的特点,其点火药量与主装药量之比较常规固体火箭发动机明显偏高,因此点火药量的多少对内弹道(特别是初期) $p-t$ 曲线的影响格外显著。由图3和表1可见点火药量对点火延迟时间的影响比较明显,增加点火药量会使点火延迟时间缩短,由1.48 ms缩短到1.06 ms,并且随点火药量增大,其影响变得平缓。

随着点火药量增大(80 mg),压力上升时间缩短,但再增加点火药量,压力上升时间又变长。分析认为当点火药量较小时,点火药的厚度较小,点火头产生的能量能把较小厚度的点火药全面点燃,当点火药量较大时,点火药的厚度增大,点火头先把较小厚度的点火药点燃,而后边的点火药就要逐层向后燃烧,这就需要一定时间。

作用时间随点火药量增大变化不显著,但当点火药量为110 mg时,作用时间显然要长些,原因同以上分析。

比较四次试验的曲线形状可以看出,当点火药量降低到某一限值后,其对内弹道性能的影响会变得十分敏感。由于所用点火药量仅为数十毫克,因而在研制点火器时,对点火药剂称量和制备准确性的控制就显得十分重要。

根据主装药的性质,采用固相点火机理^[7]来分析主装药的点火过程。固相点火理论认为由于环境热量和固相中化学反应放热对固相传热,使火药表面达到某一温度而点火。在点火过程中,点火头首先点燃点火药。由于点火药高温燃烧产物的作用,加热主装药的表面,使其中感度较高的苦味酸钾组分首先被点燃,它的燃烧产物和点火药燃烧产物共同作用,再点燃其中不易点燃的组分。随着点火药量增大,点火药燃烧产生的高温燃烧产物增多,在点火空间内产生的压强也增高,固体颗粒产物和压强的增大,加强了产物向主装药的传热,使主装药在更短的时间内点燃。因此,在选择点火药量时,应该在保证可靠点火的情况下,尽量使用较少的点火药量,不至于造成过大的点火冲击。因此,点火药量与主装药之间存在一个最优的匹配关系。

为了选择合适的点火药量,把各种性能参数和目标值进行比较。由表1可见,点火药量为110 mg,点火延迟时间为1.06 ms在目标值(1.2 ms)范围内,但80 mg时(1.25 ms)也在可接受的范围内。压力上升时间只有80 mg时(0.16 ms)在目标值(0.2 ms)范围内。工作时间只有110 mg时不在目标值范围内。因此在本试验条件下,选择80 mg点火药能满足目标值,并且燃烧室的峰值压力也最高。

4 结 论

(1) 由于小型短脉冲推冲器尺寸小和响应快的特点,表现出内弹道性能对点火药量变化的敏感性,其点火药量的少量变化会对 $p-t$ 曲线的形状及参数产生显著影响。在药量小于110 mg范围内,随点火药量增大,点火延迟时间和压力上升时间减小,工作时间变化不显著。在110 mg以上时,时间相应增加。

(2) 点火药量是影响推冲器性能的重要因素,同

时点火药应具有点火能量高、点火冲量小、点火时间短等。在采用硝胺类烟火输出药以及设计的点火结构条件下,为了达到性能参数目标值,选择80 mg点火药是合适的。

参考文献:

- [1] 张平,李世鹏,刘玉群. 点火药量对微型脉冲推力器内弹道性能的影响[J]. 航空动力学报,2003,18(1): 158-160.
ZHANG Ping, LI Shi-peng, LIU Yu-qun. Effect of igniter charges on internal ballistic performance for an impulsive microthrustor [J]. *Journal of Aerospace Power*, 2003, 18(1): 158-160.
- [2] 周海清,张平. 微型脉冲推力器点火启动过程计算与点火药量选择[J]. 固体火箭技术,2004,27(4): 276-279.
ZHOU Hai-qing, ZHANG Ping. Ignition start-up course calculation and ignition charge mass selection of impulse micro-thruster [J]. *Journal of Solid Rocket Technology*, 2004, 27(4): 276-279.
- [3] 王元有. 固体火箭发动机设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1984.
- [4] 孙丕忠,秦子增,张晓今,等. 微小型固体火箭发动机点火特性试验[J]. 国防科技大学学报,2000,22(5): 23-25.
SUN Pi-zhong, QIN Zi-zeng, ZHANG Xiao-jin, et al. Test research on the ignition characteristics of minute solid rocket motor [J]. *Journal of National University of Defense Technology*, 2000, 22(5): 23-25.
- [5] 蒋新广,李国新,王志新,等. 硝胺类烟火输出药的设计与性能研究[J]. 含能材料,2008,16(3): 277-279.
JIANG Xin-guang, LI Guo-xin, WANG Zhi-xin, et al. Design and performance of nitramine pyrotechnics composition [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2008, 16(3): 277-279.
- [6] 陈守文,成一,章文义. 硼系点火药的改性研究[J]. 爆破器材, 2002,31(6): 15-17.
CHEN Shou-wen, CHENG Yi, ZHANG Wen-yi. Study on modified B-based igniting composition [J]. *Explosive Materials*, 2002, 31(6): 15-17.
- [7] 王伯曦,冯增国,杨荣杰. 火药燃烧理论[M]. 北京: 北京理工大学出版社,1997.

Study on Ignition Performance of Short Impulsive Thruster

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 find the effect of the ignition composition amount on the short impulsive thruster and select the right ignition composition amount, the simulated test device was used and the $p-t$ curves were obtained. Results show that the ignition delayed time changes from 1.48 ms to 1.06 ms, and the pressure increasing time changes from 0.37 ms to 0.16 ms, and the action time is about 1 ms. It indicates that the ignition delayed time and the pressure increasing time can be shortened if the ignition composition amount is increased. The ignition composition amount of 80 mg is selected to meet the target requirements.

Key words: explosion mechanics; short impulsive thruster; ignition composition amount; ignition performance