

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2017.04.006

环切杆状发射装药的点传火试验研究^{*}

赵宝明^① 郭 丹^② 辛凯迪^① 刘来东^① 赵宏立^① 张 衡^① 靳建伟^①

①西安近代化学研究所(陕西西安,710065)

②中国华阴兵器试验中心(陕西华阴,714200)

[摘 要] 针对环切杆状发射药装药,设计了两种点传火方案进行试验验证:方案1[#]是中心传火管;方案2[#]是在中心传火管上端增加一个点火药包,以便加强弹丸底部装药的点火。通过100 mm火炮弹道试验负压差的分析,两种点传火方案均能满足点传火技术要求,方案2[#]负压差较方案1[#]负压差小,射击安全性提高。对点火延迟时间的分析发现,点火延迟时间越短,起始燃气生成速率越高,越易生成较大的压力波。

[关键词] 应用化学;环切杆状发射药;点传火;压力波;点火延迟时间

[分类号] TQ562

Experimental Study on Ignition of Curve-cut Stick Gun Propellant

ZHAO Baoming^①, GUO Dan^②, XIN Kaidi^①, LIU Laidong^①, ZHAO Hongli^①, ZHANG Heng^①, JIN Jianwei^①

①Xi'an Modern Chemistry Research Institute (Shaanxi Xi'an, 710065)

②China Huayin Ordnance Test Center (Shaanxi Huayin, 714200)

[ABSTRACT] Two ignition methods were designed for curve-cut stick gun propellant charge. The first one was central core igniter, and the second was addition of an igniter bag on the top of the central core igniter to enhance the ignition of bottom propellant charge. Firing test results by 100 mm ballistic gun show that both of the two methods could meet the requirement of ignition. Negative pressure difference of the second ignition method is smaller than that of the first ignition method, and the security of fire is improved. It has been observed that the shorter the ignition delay time of propelling charge is, the larger the gas production rate of propelling charge will be and easier formation of a serious pressure wave in chamber.

[KEYWORDS] applied chemistry; curve-cut stick propellants; ignition; pressure wave; ignition delay time

引言

提高初速是火炮武器的一个重要目标。实践证明,提高装药量和提高发射药燃烧的渐增性能可以有效地提高初速^[1-4]。

多孔药由于比单孔管状药具有更多的中心孔,燃烧过程中每个内孔直径增大,弥补了药粒外表面直径减小造成的外表面积减少,使得总燃烧表面积增大,是一种增面燃烧火药,燃烧渐增性优于单孔管状药^[5-6],越来越多地被应用于火炮武器。为了增大粒状药的装填密度,多孔杆状发射药应运而生^[7-10],其最大装填密度可达1.1 g/cm³。另外,由于杆状药长度较长,燃烧时靠近内孔两端的直径变大,成喇叭

状(侵蚀燃烧^[11-12]),不符合火药平行层燃烧规律,不利于弹道设计者的弹道规划。而且,由于孔道过长,孔道内压力不能及时排出,容易使多孔杆状药破裂,使得火药不能按照设计思路正常燃烧,从而影响弹道性能。因此,可以在多孔杆状药药体上增加横向切口,改善内孔的通气状况,使多孔环切杆状发射药更好地发挥其装填密度大、具有燃烧渐增性等优点。

环切杆状发射药的装填方式相比于粒状药发生了较大的变化,而国内目前关于环切杆状发射药点传火性能的研究开展得较少^[13]。因此,针对100 mm弹道炮设计了两种环切杆状发射药点传火方案,进行了弹道验证试验,探索适合环切杆状发射装药的点传火方案。

^{*} 收稿日期:2016-06-30
作者简介:赵宝明(1978-),男,副研究员,主要从事发射药点传火研究。E-mail:baomingzhao@126.com

1 试验部分

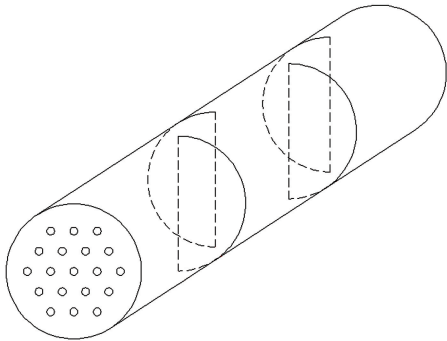
1.1 环切杆状发射药制备

选用高能硝胺发射药配方,采用三基药制备工艺,经过吸收、压延、胶化、压伸成型等工艺制备出多孔环切杆状发射药药品。

图1为多孔环切杆状发射药照片及示意图(参考文献[6])。本次弹道炮试验中,样品药型尺寸为27/19H(花边为19孔,弧厚为2.7 mm),长度为140 mm。



(a) 实物照片



(b) 示意图

图1 多孔环切杆状发射药

Fig. 1 Multi perforated curve-cut stick propellants

1.2 点传火方案设计

有试验表明,迅速而分散的点火有利于降低压力波。由于压力波主要在点火阶段形成^[14],所以应特别注意点火系统的设计。设计两种点传火方案进行试验验证:方案1[#]是中心传火管;方案2[#]是在中心传火管上端增加一个点火药包,以加强弹丸底部装药的点火。

两种方案的装药均采用 DAGR125-27/19 + 管状药。方案1[#]中,传火管为可燃中心传火管,总长360 mm,外径23 mm,内径18 mm,内部封装占装药质量1%的奔奈药管作为传火药。方案2[#]中,可燃中心传火管结构尺寸与方案1[#]一致;与方案1[#]相比,将管内奔奈药管质量减少30%,在点火药包中装入质量分数30%的奔奈药粒。

图2为两种方案所用的中心传火管及点火药包照片。



(a) 中心传火管



(b) 点火药包

图2 两种方案所用中心传火管及点火药包照片

Fig. 2 Photos of central core igniter and igniter bag used in the two ignition methods

1.3 弹道试验

在100 mm弹道炮上对两种点传火方案进行试验验证,弹丸质量6.27 kg。按照弹药试验标准,弹道试验高温取50℃,低温取-40℃。用SYC-1000型压电传感器测试膛底与坡膛处膛内压力,由二者压力-时间曲线作出膛底与坡膛压差曲线。两种方案各进行3发平行试验,试验结果取平均值。

2 结果与讨论

2.1 安全性(压力波)

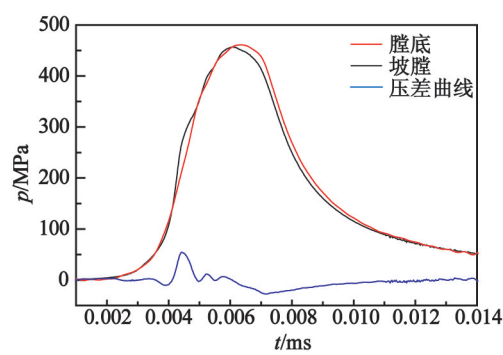
膛内压力波的大小,通常以膛底处测得的压力减去坡膛处所测压力的差值表示,从而获得压力差随时间的变化规律,即

$$\Delta p = p_1 - p_2。 \tag{1}$$

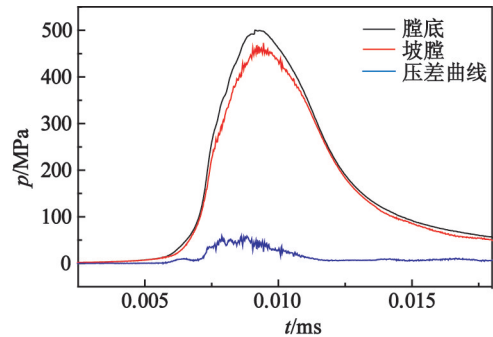
式中: Δp 为某瞬间膛底与坡膛处的压力差; p_1 为某瞬间膛底处测得的压力; p_2 为某瞬间坡膛处测得的压力。

火炮射击过程中,压力差随时间的变化曲线($\Delta p-t$),通常称为压差曲线。一般在压差曲线上,取第一个负压差值作为衡量膛内压力波的特征量,记作 $-\Delta p_i$ 。它不仅反映点火的不均匀性,也是点火好坏的标志。

图3为-40℃时两种点传火方案在100 mm弹道炮上试验测得的膛底与坡膛的压力曲线及压差曲线。表1为两种点传火方案在100 mm弹道炮上试



(a) 方案 1[#]



(b) 方案 2[#]

图 3 两种点传火方案在 100 mm 弹道炮上的 $p-t$ 曲线及 $\Delta p-t$ 曲线

Fig. 3 $P-t$ curves and $\Delta p-t$ curves of the two ignition methods by 100 mm ballistic gun

表 1 两种点传火方案在 100 mm 弹道炮上的负压差

Tab. 1 Negative pressure difference of the two ignition methods by 100 mm ballistic gun

方案	温度/℃	$-\Delta p_i/\text{MPa}$	$-\overline{\Delta p_i}/\text{MPa}$
1 [#]	-40	-10.4	-10.1
		0	
		-19.8	
2 [#]	-40	0	-2.5
		-7.5	
		0	

验得到的结果。

由图 3 可明显看出,方案 1[#]压差曲线有较明显的压力波动,方案 2[#]压差曲线波动不明显。

表 1 试验结果显示, -40 ℃ 时两种点传火方案单发获得的负压差均小于 35 MPa, 装药的射击安全性得以保证, 说明两种点传火方案均可满足该装药的点传火要求。相比而言, 方案 2[#] 的负压差较小, 说明其压力波变化较小, 装药药床点火均匀性良好, 安全性优于方案 1[#]。这是由于方案 2[#] 将一部分点火药由可燃中心传火管内移到药床中上部位置, 加

强了弹丸底部装药的点火, 使药床底部和中上部的点火同时性及均匀性提高, 避免了点火初期点火能量集中在药室底部及中部, 顶部火药的起燃迟滞于底部, 从而形成底部和顶部较大的压力梯度, 避免了危险压力波的产生。

2.2 点火延迟时间

由两种点传火方案弹道试验得到的 $p-t$ 曲线可分析获取两种方案点火延迟时间, 结果如表 2 所示。

表 2 两种点传火方案在 100 mm 弹道炮上的点火延迟时间

Tab. 2 Ignition delay of the two ignition methods by 100 mm ballistic gun

方案	温度/℃	点火延迟时间/ms	点火延迟时间均值/ms	$-\overline{\Delta p_i}/\text{MPa}$
1 [#]	-40	1.2	1.2	-10.1
		1.4		
		1.1		
2 [#]	-40	2.8	2.9	-2.5
		2.8		
		2.9		
	50	1.8	1.8	-43.0
		1.8		

点火延迟时间是指点火药开始燃烧并加热发射药至发射药起始燃烧(表面有燃烧火焰)之间的时间。此处, 点火延迟时间是指点火燃烧压力 2 MPa 至 10 MPa 的时间, 认为 2 MPa 时点火药开始稳定燃烧并开始加热发射装药。

由表 2 试验结果可看出, 低温 -40 ℃ 条件下, 与方案 1[#] 相比, 方案 2[#] 点火延迟时间较长, 膛内压力达到 2 ~ 10 MPa 平均需 2.9 ms, 点火初始阶段压力上升速率较慢, 负压差平均值较方案 1[#] 低。同样, 方案 2[#] 高温 50 ℃ 条件下膛内压力达到 2 ~ 10 MPa 平均需 1.8 ms, 高温条件下气体压力上升速率较低温 -40 ℃ 高, 表现出膛内产生较高的负压差, 负压差平均值达 -43 MPa。可能正是由于点传火系统、装药初温等对点火初始气体生成速率的影响, 从而影响膛内压力波的变化。点火初始气体生成速率较低, 膛内压力梯度较小, 局部产生的压力波有较多的时间在药室消失, 从而使膛内压力波衰减下来。

另外, 由表 1 和表 2 两种方案单发数据对比发现, 膛内压力由 2 ~ 10 MPa 经历时间越短, 越易产生较大压力波, 说明起始燃气生成速率越高或点火强度太强, 越易生成较大的压力波。

对于环切杆状发射装药点传火系统设计时, 要注意以下几点:

首先,要考虑点传火系统的点火能量。点火药用量既要能保证药室装药正常点火,不发生装药不均匀点燃和延迟发火,又不能超过某极限值,造成点火过强,使得装药初始气体生成速率过高,形成危险压力波。

其次,应考虑装药点传火系统的结构设计。随着发射药高燃烧渐增性及高能量密度要求的发展,复杂药型层出不穷,膛内装药的复杂性及对点传火系统性能的要求也越来越高,原来在药室底部放置一个点火药包,就可能较好地完成装药的点火,现在对于一些装药,即使使用中心传火管,也不能保证点火性能能满足点火技术要求。应根据膛内装药实际情况、负压差等信息的反馈选择并改善点传火系统,使其满足使用要求。

3 结论

- 1)100 mm 弹道炮试验结果表明,两种点传火方案均能满足环切杆状发射装药的点传火技术要求。相比而言,方案 2#负压差较方案 1#中心传火管小,射击安全性提高。
- 2)点火延迟时间及负压差结果显示,点火阶段点火延迟时间越短,起始燃气生成速率越高,越易生成较强的压力波。

参 考 文 献

[1] 王琼林,刘少武,张远波,等. 程序控制燃烧发射药的概念和原理[J]. 火炸药学报,2009,32(5):71-74.
WANG Q L,LIU S W,ZHANG Y B,et al. Conception and principle of controlled burning gun propellant[J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2009,32(5):71-74.

[2] 郑双,刘波,于慧芳,等. 钝感三基发射药的燃烧性能[J]. 含能材料,2010,18(6):677-680.
ZHENG S, LIU B, YU H F, et al. Combustion characteristics of desensitized triple base propellant[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2010,18(6):677-680.

[3] 刘波,王琼林,刘少武,等. 提高改性单基药燃烧性能的研究[J]. 火炸药学报,2010,33(4):82-85.
LIU B,WANG Q L,LIU S W,et al. Study on improvement of combustion performance of the modified single base propellant[J]. Chinese Journal of Explosives and propel-

lants, 2010,33(4):82-85.

[4] ERMOLAEV B S, SULIMOV A A, KHRAPOVSKII V E, et al. Traveling charge: investigation results [J]. Combustion, Explosion, and Shock Waves,2011,4:255-261.

[5] 王泽山,徐复铭,张豪侠. 火药装药设计原理[M]. 北京:兵器工业出版社,1995.

[6] 徐汉涛,肖正刚,何卫东. 部分切口多孔杆状发射药的燃烧性能[J]. 含能材料,2014,22(2):251-255.
XU H T,XIAO Z G,HE W D. Combustion characteristics of partially cut multiperforated stick propellant[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2014,22(2):251-255.

[7] KHOMENKO Y P, ISCHENKO A N, KASIMOV V Z. Mathematical modeling of interior ballistic processes in barrel systems [M]. Novosibirsk, Russia: Publication House of SB of RAS,1999:256.

[8] GOUGH P. A two phase model of the interior ballistics of hybrid solid propellant traveling charges; ARBRL CR 565 [R]. US:Aberdeen Proving Ground,1987.

[9] ERMOLAEV B S, SULIMOV A A, ROMANKOV A V. Traveling high density charge of convective burning in hybrid shot scheme: new results[J]. Combustion, Explosion, and Shock Waves,2013,6:206-210.

[10] ERMOLAEV B S, ROMANKOV A V, SULIMOV A A, et al. Compacted modified propellant blocks as traveling charge in the hybrid shot scheme[J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics,2014,39(6):881-889.

[11] 张洪林. 侵蚀燃烧在发射装药内弹道中的应用研究[J]. 兵工学报,2008,29(2):129-133.
ZHANG H L. Application research of erosive burn in propellant charge interior ballistics[J]. Acta Armamentarii, 2008,29(2):129-133.

[12] 萧忠良,王泽山. 发射药科学技术总体认识与理解[J]. 火炸药学报,2004,27(3):1-6.
XIAO Z L,WANG Z S. The understanding and comprehension of science and technology for propellant [J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2004,27(3):1-6.

[13] 赵宝明,李先,刘来东,等. 适用于 RGD7A 基三层发射药的点火药[J]. 爆破器材,2015,44(3):51-54.
ZHAO B M, LI X, LIU L D, et al. Ignition powders of the three layers gun propellant based on RGD7A [J]. Explosive Materials,2015,44(3):51-54.

[14] 鲍廷钰,邱文坚. 内弹道学[M]. 北京:北京理工大学出版社,1995.