

文章编号: 1006-9941(2010)02-0192-04

某新型发射药在身管附加装药中的应用研究

张江波, 杨雁, 张玉成, 蒋树君, 余斌, 王锋

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

摘要: 为研究身管附加装药的类压力平台增速效应, 采用了在弹道枪炮身管上安装附加药室的试验装置。其主药室装药采用 6/7-XDGZB 高能硝胺发射药, 附加药室装药采用 4/1-XDZJ 高能发射药。密闭爆发器试验和内弹道试验结果表明: 6/7-XDGZB 发射药具有起始缓燃性, 4/1-XDZJ 发射药具有速燃和渐减燃烧特性, 两者配合在膛内燃烧, 在最大膛压基本保持不变的情况下, 初速从空白装药(传统的单一装药, 没有附加装药)的 $981 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 提高到附加装药的 $1063 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 提高了 $82 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 增幅为 8.4%, 示压效率由 0.47 提高到 0.58。

关键词: 材料科学; 发射药; 附加装药; 压力平台效应; 渐减性燃烧; 内弹道; 炮口初速

中图分类号: TJ55; TQ562

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.02.015

1 引言

常规身管(枪、炮)武器弹丸初速的提高, 是武器发展的重要方向之一。高初速火炮可以增大火炮的射程, 使火炮能在不转移阵地的情况下进行大纵深的火力支援。弹丸初速越高, 弹丸飞行到目标的时间越短, 同时由于弹道低伸, 能改善对目标、特别是运动目标的命中概率。通过以下途径可以提高弹丸初速: 提高发射药能量及改善燃烧性能, 主要包括提高发射药的火药力, 采用多层发射药实现火药的燃烧渐增性等技术手段; 采取对火炮药室内发射药装药进行合理设计的新型装药技术, 主要包括密实装药、随行装药、多药室装药、身管附加装药、固液混合装药等装药手段^[1-3]。身管附加装药是在身管上分布有不同的药室, 当弹丸通过身管上药室时, 药室中的火药被点燃并在弹丸底部空间补充能量, 形成压力平台提高弹丸初速^[4]。

不论采用改善发射药及其燃烧性能的技术手段还是采用新型装药技术, 在保持最大膛压不变的情况下, 反映在内弹道中就是提高了火炮的示压效率, 增大了 $p-l$ ($p-t$) 曲线下火药燃气的有效做功面积^[5]。

本试验在一弹道炮身管上设计并加工附加药室的装置, 制备了适用于主药室装药和附加药室装药的新

型高能发射药, 通过密闭爆发器及内弹道实验研究, 表明采用该试验装置及新型发射药, 能够明显地提高示压效率, 提高弹丸炮口初速。

2 身管附加装药试验装置及作用原理

在一弹道身管不同位置上安装一个或多个附加药室构成身管附加装药试验装置。当主药室装药燃烧推动弹丸沿身管运动后, 身管上附加药室内的附加装药被弹后火药气体点燃, 燃烧产生的气体在弹后形成压力平台作用于弹丸底部, 与发射药随行装药相似, 能够较大幅度提高炮口初速。身管附加装药如图 1 所示。

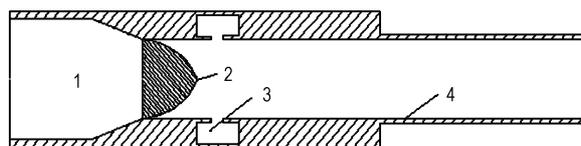


图 1 身管附加装药结构图

1—主药室, 2—弹丸, 3—附加药室, 4—炮管

Fig. 1 Sketch of a barrel additional charge

1—main chamber, 2—pill, 3—additional chamber,

4—gun barrel

身管附加装药通过对膛内补充能量, 适时增加火药燃气膨胀所完成的机械功来提高炮口初速。由经典内弹道理论知, 全过程燃气膨胀所完成的机械功等于 $p-l$ 曲线下方的面积, 如下式所示: $W_g = S \int_0^{l_g} p dl$

收稿日期: 2009-06-10; 修回日期: 2009-09-16

基金项目: 总装预研项目资助(No. 9140C3502010801)

作者简介: 张江波(1982-), 男, 硕士, 从事发射药技术研究。

e-mail: zhangjiangbo1981@163.com

为表述 $p-l$ 曲线陡度变化的特征,引入全过程平

均压力,如下式所示: $\bar{p} = \frac{\int_0^{l_g} p dl}{l_g}$

由于不容易直接测量出膛内弹丸运动时的 $p-l$ 曲线,因此根据平均压力的定义引入全过程时间的平均

压力,令 $\bar{p}_t = \frac{\int_0^{t_g} p dt}{t_g}$,定义以全过程时间平均压力表示

的示压效率为: $\eta_g^t = \frac{\bar{p}_t}{\bar{p}_m}$

根据以上公式及内弹道物理意义知,传统的示压效率和本定义中的以全过程时间平均压力表示的示压效率在变化规律上是相似的,因此可以用本定义中的示压效率表示火炮的作功效率。

由以上公式知,身管附加装药通过增加火炮膛内的燃气量来增加 $p-l(p-t)$ 曲线下的作功面积,增大示压效率,实现压力平台,提高炮口初速。

3 实验方案

3.1 密闭爆发器实验

实验制备了 6/7-XDGZB 新型发射药和 4/1-XDZJ 新型发射药,密闭爆发器的容积为 100 mL,装填密度为 $0.2 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$,点火药包采用 1.1 g 硝化棉,正常点火压力为 10 MPa,在此条件下对 6/7-XDGZB 新型发射药、4/1-XDZJ 新型发射药、5/7 单基药(制式)、3/1 樟单基药(制式)进行了燃烧性能测试。

3.2 内弹道试验

使用上述身管附加装药试验装置和电底火。采用压电传感器测量膛底压力,主药室采用 6/7-XDGZB 新型发射药做主装药,附加药室采用 4/1-XDZJ 新型发射药做附加装药。试验还采用制式单基药做参照基准,在不同装药量下进行了内弹道试验。

4 结果及分析

4.1 密闭爆发器试验结果

在以上试验条件下对新型发射药及制式单基发射药进行了密闭爆发器实验,不同发射药的基本参数如表 1 所示。

图 2 和图 3 分别为 5/7 单基药和 6/7-XDGZB 发射药的 $p-t$ 曲线和 $L-B$ 曲线,图 4 和图 5 分别为 3/1 樟发射药和 4/1-XDZJ 发射药的 $p-t$ 曲线和 $L-B$ 曲线。

表 1 发射药基本参数

Table 1 The parameters of the gun propellants

gun propellant name	$2e_1$ /mm	d_0 /mm	$2c$ /mm	f /kJ · kg
5/7-single-base-propellant	0.58	0.16	3.26	980
6/7-XDGZB-propellant	0.65	0.2	3.69	1250
3/1-camphor-propellant	0.3	0.1	1.8	980
4/1-XDZJ-propellant	0.6	0.25	3.0	1250

Note: $2e_1$, web of grain; d_0 , inner diameter of grain; $2c$, length of grain; f , the energy of propellant.

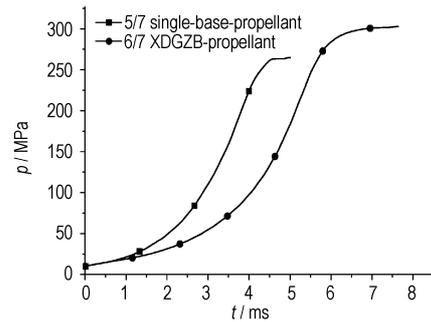


图 2 5/7 单基药和 6/7XDGZB 发射药的 $p-t$ 曲线

Fig. 2 $p-t$ curves of 5/7-single-base propellant and 6/7-XDGZB propellant

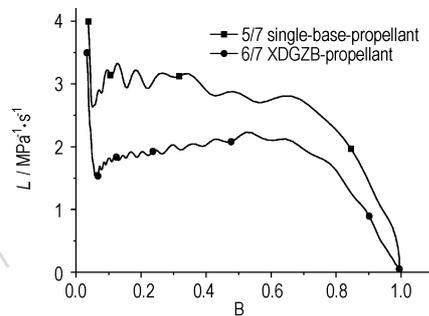


图 3 5/7 单基药和 6/7XDGZB 发射药的 $L-B$ 曲线

Fig. 3 $L-B$ curves of 5/7-single-base propellant and 6/7-XDGZB propellant

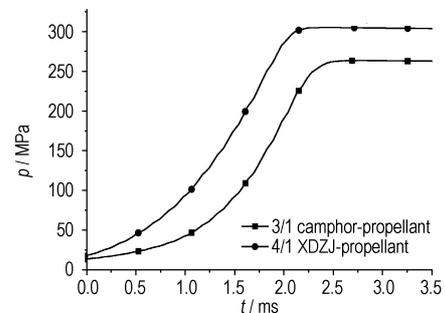


图 4 3/1 樟和 4/1-XDZJ 发射药的 $p-t$ 曲线

Fig. 4 $p-t$ curves of 3/1-camphor propellant and 4/1-XDZJ propellant

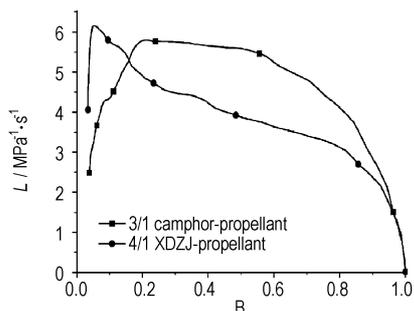


图 5 3/1 樟和 4/1-XDZJ 发射药的 $L-B$ 曲线

Fig. 5 $L-B$ curves of 3/1-camphor propellant and 4/1-XDZJ propellant

由图 2 知, 6/7-XDGZB 发射药的 $p-t$ 曲线较 5/7 单基发射药的上升速率慢, 说明 6/7-XDGZB 发射药的起始燃气生成速率较 5/7 单基发射药缓慢。从图 3 的 $L-B$ 曲线知, 6/7-XDGZB 发射药的燃烧渐增性要好于 5/7 单基发射药。由图 4 知, 4/1-XDZJ 发射药具有更高的燃气生成速率且能量也高于 3/1 樟发射药, 4/1-XDZJ 发射药的燃速明显高于 3/1 樟发射

药, 这是因为 4/1-XDZJ 发射药的燃气生成速率高于 3/1 樟发射药, 然而 4/1-XDZJ 发射药的弧厚大于 3/1 樟发射药。根据燃烧速度定律, 4/1-XDZJ 发射药应具有更高的燃烧速度, 这种性质能够满足附加装药要求的发射药速燃性。图 5 中的 $L-B$ 曲线表明 4/1-XDZJ 发射药具有较高的燃烧渐减特性, 这种特性使得附加装药能够在短时间内释放出更多的能量用来作功。通过分析知, 6/7-XDGZB 发射药的燃烧特性能够使主药室中内弹道的最大压力点延后, 而 4/1-XDZJ 发射药的较高燃速和燃烧渐减性可以更好地补充膛内的能量, 形成类压力平台效应, 较大幅度提高炮口初速。

4.2 内弹道试验结果

针对单基发射药和新型发射药进行了内弹道试验, 装填控制条件及内弹道试验结果如表 2 所示。

新型发射药的空白装药 (主药室为 6/7-XDGZB, 29 g, 无附加装药) 第五发, 以及附加装药 (主药室为 6/7-XDGZB, 29 g, 附加药室, 14 g) 第九发的 $p-t$ 曲线和压力全冲量 I 曲线分别如图 6 和图 7 所示。

表 2 内弹道试验结果

Table 2 The results of interior ballistic experiments

serial number	main chamber	additional chamber	$\omega_{\text{main}}/\text{g}$	$\omega_{\text{addition}}/\text{g}$	p_m/MPa	$v_0/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
1	5/7-single-base-propellant	-	32	-	355	943
2	5/7-single-base-propellant	-	32	-	348	937
3	5/7-single-base-propellant	3/1 camphor-propellant	32	8	358	978
4	5/7-single-base-propellant	3/1 camphor-propellant	32	8	366	979
5	6/7-XDGZB	-	29	-	368	980
6	6/7-XDGZB	-	29	-	379	982
7	6/7-XDGZB	4/1-XDZJ	29	10	374	1028
8	6/7-XDGZB	4/1-XDZJ	29	10	367	1024
9	6/7-XDGZB	4/1-XDZJ	29	14	364	1062
10	6/7-XDGZB	4/1-XDZJ	29	14	376	1064

Note: blank charge, classical charge with main chamber; additional charge, the charge with main chamber and additional chamber.

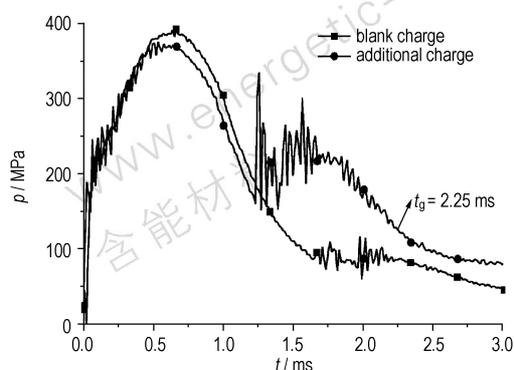


图 6 空白装药和附加装药的 $p-t$ 曲线

Fig. 6 $p-t$ curves of blank charge and additional charge

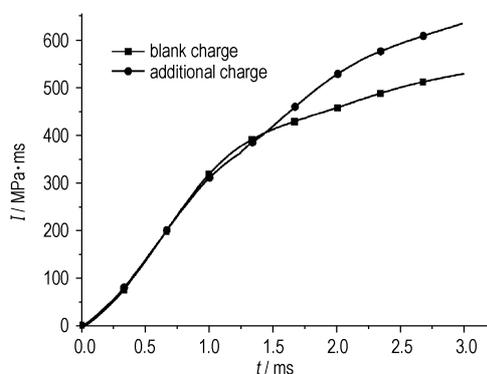


图 7 空白装药和附加装药的 $I-t$ 曲线

Fig. 7 $I-t$ curves of blank charge and additional charge

由表 2 的内弹道试验结果知,第一和第二发 5/7-单基药空白装药时,主药室装药 32 g,最大压力为 351.5 MPa (两发结果的平均值,下同),初速为 $940 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (两发结果的平均值,下同);第三和第四发附加药室装有 3/1 樟发射药 8 g 时,主药室装药 32 g,最大压力为 362 MPa,初速为 $978.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。即单基制式药的附加装药初速增加了 $37.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,增幅为 4%。

表 2 的新型发射药的试验结果为:第五和第六发 6/7-XDGZB 发射药空白装药时,主药室装药 29 g,最大压力为 373.5 MPa,初速为 $981 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;第七和第八发附加药室装有 4/1-XDZJ 发射药 10 g 时,主药室装药 29 g,最大压力为 370.5 MPa,初速为 $1026 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;第九和第十发附加药室装有 4/1-XDZJ 发射药 14 g 时,主药室装药 29 g,最大压力为 370 MPa,初速为 $1063 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。图 6 的曲线表明附加装药膛内最大压力与空白装药相比基本保持不变,附加装药的 $p-t$ 曲线在 200 MPa 附近出现了压力平台,做功面积有了增加。附加装药结构的初速较空白装药增加了 $82 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,增幅为 8.4%。根据图 7 计算可知,空白装药的示压效率为 0.47,附加装药的示压效率为 0.58。这说明采用适合附加装药的新型发射药(主药室为起始缓燃高能发射药,附加药室为燃烧渐减性的速燃高能发射药)能够大幅度提高炮口初速,改善内弹道特性,提高示压效率。在附加药室位置已确定的情况下,通过合理和优化设计主药室装药和附加药室装药,能够较大幅度的提高炮口初速,实现压力平台。

5 结 论

(1) 身管附加装药能够较大幅度提高炮口初速,初速提高了 $82 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,增幅达 8.4%,示压效率从 0.47 增加到 0.58。

(2) 用作身管附加装药的发射药具有如下特性时能够更好地提高初速。主药室装药具有起始缓燃性(如 6/7-XDGZB 发射药),附加药室装药具有速燃和燃烧渐减性(如 4/1-XDZJ 发射药)。

参考文献:

- [1] 张江波,张玉成,蒋树君,等. 双药室实现能量补偿的技术研究[J]. 火炸药学报,2008,31(2): 68-70.
ZHANG Jiang-bo, ZHANG Yu-cheng, JIANG Shu-jun, et al. Study on energy compensation technique of double chambers charge [J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2008, 31(2): 68-70.
- [2] 张江波,蒋树君,余斌. 序列装药内弹道过程的模拟分析[J]. 火炸药学报,2008,31(3): 87-90.
ZHANG Jiang-bo, JIANG Shu-jun, YU Bin. Simulated analysis on interior ballistic of sequential charge [J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2008, 31(3): 87-90.
- [3] 朱如华. 增大火炮射程的技术途径[J]. 现代军事,1995,7: 11-13.
ZHU Rui-hua. Technical means of increasing the range of artillery [J]. *Modern Military*, 1995, 7: 11-13.
- [4] 李进军. 21 世纪的舰炮发展趋势[J]. 舰载武器,2000(1): 37-40.
LI Jin-jun. The development of 21st century trends in naval gun [J]. *Ship Borne Weapons*, 2000(1): 37-40.
- [5] 王琼林. 具有洁净燃烧特征的高分子表面钝感枪药[J]. 火炸药学报,2003,26(4): 5-7.
WANG Qiong-lin. Study on the clear-burning gun propellant [J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2003, 26(4): 5-7.

Application of a New Gun Propellant in Barrel Additional Charge

ZHANG Jiang-bo, YANG Yan, ZHANG Yu-cheng, JIANG Shu-jun, YU Bin, WANG Feng

(Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710065, China)

Abstract: An experimental device that additional chambers were mounted on a barrel of 14.5 mm ballistic machine gun was adopted in order to study the pressure platform-like effect of increasing muzzle velocity with a barrel additional charge. The 6/7-XDGZB gun propellant was used as the main charge, and the 4/1-XDZJ was used as the additional charge. The results of closed bomb experiment and interior ballistic experiment show that the 6/7-XDGZB gun propellant has the characteristics of lower initial burning rate, and the 4/1-XDZJ gun propellant with higher burning rate has property of regressive burning. The two charges burn in coordination in their respective chambers, and the muzzle velocity of the additional charge can rise from $981 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ to $1063 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ compared to the blank charge (i. e. main charge only, no additional charge) under the condition in keeping the maximum pressure unchanged, and piezometric efficiency can rise from 0.47 to 0.58.

Key words: materials science; gun propellant; additional charge; pressure platform effect; regressive burning; interior ballistic; muzzle velocity

CLC number: TJ55; TQ562

Document code: A

DOI: 10.3969/j. issn. 1006-9941. 2010. 02. 015