

气膜冷却技术在火炮射击中的应用*

李 锋 张青藩

(南京航空航天大学动力工程系, 南京, 210016)

张 振 铎

(南京理工大学, 南京, 210014)

摘 要: 炮管烧蚀一直是火炮性能提高所面临的一个重大障碍, 分析了火炮烧蚀的机理, 提出了一种将冷却剂直接加于可燃药筒中的新型气膜冷却技术, 从而在火炮内弹道性能有所提高的情况下提高了身管的使用寿命。

主题词: 火炮, 火炮寿命, 内弹道, 烧蚀, 气体冷却

分类号: TJ303.1

AN APPLICATION OF FILM COOLING TECHNOLOGY IN GUN FIRING

Li Feng Zhang Qingfan

(Dept. of Power Engineering, Nanjing Univ. of Aeronautics and Astronautics, Nanjing, 210016)

Zhang Zhenduo

(Nanjing Univ. of Science and Technology, Nanjing, 210014)

Abstract: The erosion of gun barrel is a main deterrence for improving the gun performance. In this paper, the erosion principle of gun barrel was analyzed and a new film cooling technology was presented. In this technology, the coolant was put into the combustible case. With this cooling technology, the gun interior ballistic characteristics and the durability of gun barrel were improved.

Subject terms: Gun interior trajectory, Gun barrel life, Ablation, Gas cooling

1 引 言

炮管膛内高温高压火药气体对身管的热作用、化学作用和冲刷作用以及弹丸的撞击和摩擦是造成身管烧蚀、使用寿命降低的主要原因。在这些因素中, 温度是所有烧蚀过程的主要

* 本文 1994 年 12 月 26 日收到, 修改稿 1995 年 2 月 13 日收到

控制因素, 因此, 降低膛面温度对降低烧蚀有明显影响。本文针对火炮的射击特点, 提出了一种气膜冷却技术, 从而在不降低火炮内弹道性能的前提下, 使火炮的使用寿命有所提高。

2 气膜冷却技术在降低炮管烧蚀中的应用

当点火药燃气和炽热的固体颗粒从点火孔或药包处喷射出来时, 点燃附近的主装药, 然后火焰峰迅速传播并点燃整个装药床, 火药燃烧产生的高温、高压燃气推动着弹丸运动。火药气体的主要成份是 CO_2 、 CO 、 H_2O 、 H_2 及 N_2 , 也存在 NH_3 、 CH_3 、 NO 及 H_2S , 这些物质在膛内发生化学反应, 生成熔点为 $1000\sim 1150^\circ\text{C}$ 的熔化物质。另外在高压气体的作用下, 弹带嵌入膛线, 产生接触压力, 在接触面处温度迅速升高, 可使内膛表面部分疏松或熔化。跟随在弹丸后面的高速气体, 很容易将这些熔化疏松物冲刷掉。有时弹带闭气性不好, 火药气体从弹带泄出, 直接烧蚀膛面, 熔化弹带引起挂铜, 液体铜进入膛面裂纹中, 加速裂纹扩展到炮管壁内。加速前进的弹丸挤扩阳膛线, 使炮口磨损。此外, 还有未燃尽的发射药粒子以及弹丸对膛面的机械磨损等。所有这些因素, 把金属从膛面除去, 从而形成炮管的宏观烧蚀, 最终使膛面扩大。

要降低烧蚀, 延长身管的使用寿命, 关键是要降低炮管内膛表面的温度, 气膜冷却技术是工程上应用很广的防烧蚀技术, 但将气膜冷技术用于火炮中, 还需解决如下几个问题:

(1) 气膜不能留膛, 以免影响下一发射击;

(2) 气膜不能与膛壁有化学作用和污染;

(3) 气膜能明显降低膛面温度和烧蚀量, 但对主要内弹道诸元, 如膛压、初速则基本无影响。

传统的气膜冷却技术是在药筒中加入护膛衬纸, 这种护膛衬纸主要由石蜡、凡士林、地蜡等组成, 其在装药中的位置如图 1 所示。这种护膛衬纸中的护膛剂, 常温下是腊状物, 熔化时吸收热量 (溶解热为 $146\sim 163\text{J/kg}$, 再受热, 温度达到 $300\sim 370^\circ\text{C}$ 时, 开始沸腾, 变成气态物质, 将膛壁与高温燃气隔开, 并进一步吸热, 其蒸发热为 2470J/kg , 从而起到气膜冷却作用。图 2 为有无护膛面的温度分布情况, 从图中可以清楚地看到, 使用护膛剂后, 膛面温度得到明显下降, 表 1 也显示其对身管使用寿命的影响。

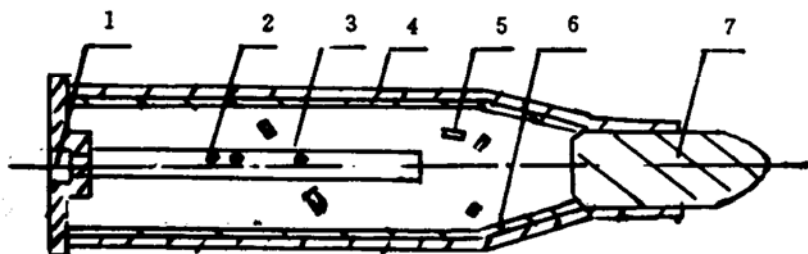


Fig. 1 The charge structure of protective barrel paper gun

1. Primer 2. Ignition powder 3. Igniter tube 4. Cartridge case
5. Black powder 6. Protective barrel paper 7. Bullet

Table 1 The influence of protective barrel cooler on the use life of gun barrel

Gun name	Don't add protective barrel cooler	Add protective barrel cooler
85mm Cannon	1150 Round	5700 Round
100mm Cannon	1500~1600 Round	3800 Round

从表 1 中可以明显看到, 护膛剂的使用, 其身管的使用寿命明显增长。但是这种护膛剂的使用, 也带来了其它一些问题, 主要有: 膛压略有增高; 增加了装药的点火困难和装药的燃烧时间; 降低了发射时的火焰, 但增加了发射时的烟雾; 护膛衬纸占据了一部分宝贵的药室容积。

3 改进型气膜冷却技术的引入及其效果

针对护膛衬纸的利弊, 我们作了一些改进, 用聚乙烯缩丁醇和二氧化钛取代原来的护膛剂, 并将其直接加于可燃药筒之中, 其装药结构如图 3 所示。表 2 为使用含护膛冷却剂的多功能可燃药筒后的部分射击结果与标准装药的对比情况, 表 3 为使用多功能可燃药筒与使用护膛补纸时的身管内径变化及药室增长的对比值。

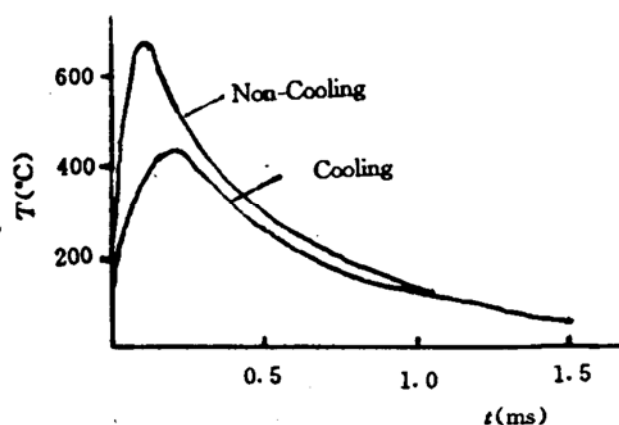


Fig. 2 The influence of protective barrel cooler on the distribution of barrel wall temperature

Table 2 The influence of multi-use combustible case on the gun ballistic performance

Charge structure	Boring-pressure (MPa)	Muzzle velocity (m/s)
Combustible case	444.1	1635.2
Protective barrel paper	449.1	1607.6

Table 3 The influence of multi-use combustible case to the use life of gun barrel

Charge structure	Inside diameter change (mm/round)	Increment of black powder cavity (mm/round)
Combustible case	0.077	0.017
Protective paper barrel	0.106	0.124

从表中的结果可以看出, 将护膛冷却剂加入可燃药筒中取代传统的护膛衬纸, 由于增加了药室容积, 可多增加火药, 因此, 可提高初速, 改善火炮的内弹道性能。而且由于在药筒中加入了二氧化钛, 在火药燃烧时, 一定粒度的二氧化钛悬浮在快速流动的气体中, 流动的

气体均匀地把它喷向内膛表面,使得火药气体和内膛表面界面层之间的热传递性能降低,起了隔热作用。这些物质还可能生成氧化物、氮化物沉积在炮管的内壁面,生成一种耐烧蚀磨损的覆盖层。此外,在 800°C 以上的高温条件下,还可能发生如下的化学作用:



从而使火药气体中的 CO 转化为 CO_2 , 而火药气体中的 CO 是引起膛烧蚀的主要成份, 所以减少了金属表面的烧蚀, 从而提高了身管使用寿命。

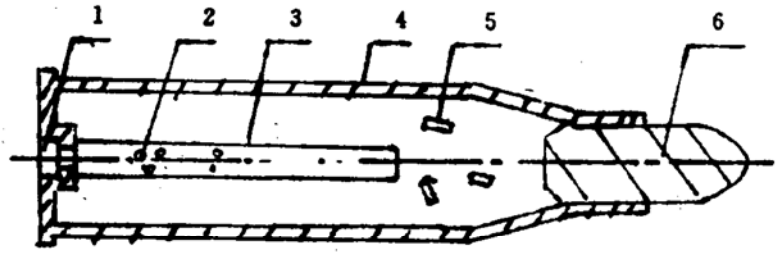


Fig. 3 The charge structure of multi-use combustible case

1. Primer 2. Ignition powder 3. Igniter tube
4. Flammable cartridge case 5. Black powder 6. Bullet

参 考 文 献

- [1] Chen C J. An Experimental and Theoretical Study on Ablative and Evaporative Cooling in the Interior Ballistics. AD 74778
- [2] 陈舒林. 火药设计与制造. 北京: 兵器工业出版社, 1987
- [3] 葛绍岩. 气膜冷却. 北京: 科学出版社, 1985
- [4] Tsou F K. Film Cooling in Gun Barrel. Orlando: The First International Symposium in Ballistics, 1974
- [5] Jame E D. A Numerical Solution of the Laminer Compressible Boundary Layer in a Gun Tube. Maryland: US Army Aberdeen Proving Ground, 1979