

## 【兵器与装备】

## 迫击炮灭火弹圆柱部结构设计\*

桂潜波,王克印

(军械工程学院,石家庄 050003)

**摘要:**根据迫击炮灭火弹的战斗功能原理,在对弹药在发射膛内进行受力分析的基础上,提出了对灭火弹圆柱部分的创新设计,采用对称均匀分布的立柱结构形式,使轴向惯性力和由轴向惯性力引起的灭火剂压力采用不同的结构和材料分别承受.新的结构不仅仅满足发射过程中的安全性要求,还可以减少中心装药量,增加灭火剂装填量,减轻弹体质量,满足抛撒距离要求,避免杀伤型破片的产生.

**关键词:**灭火弹;结构;圆柱部

**中图分类号:**TJ303

**文献标识码:**A

**文章编号:**1006-0707(2008)04-0026-02

灭火迫击炮弹战斗部的作用机理与杀伤迫击炮弹有很大差别.杀伤迫击炮弹主要依靠冲击波和圆柱部的壳体形成杀伤破片摧毁目标;灭火迫击炮弹主要依靠中心药爆炸,壳体破裂,抛撒灭火剂起到灭火作用,且尽量避免产生杀伤型的破片.所以在灭火迫击弹的圆柱部结构设计过程中,如果采用普通迫击炮弹的圆柱部结构和材料,将不利于灭火弹丸灭火效能的发挥.

## 1 圆柱部载荷分析

弹丸在膛内运行的过程中,圆柱部部分所承载荷主要来自火药气体的泄漏压力、惯性力和灭火剂压力.由于闭气环的作用,火药气体泄漏作用于圆柱部的压力可以不予考虑,这里主要研究惯性力和灭火剂压力对圆柱部的作用.

### 1.1 惯性力

迫击炮灭火弹在膛内运动的过程中,不产生旋转运动,所以不产生径向惯性力和切向惯性力,只有火药气体推动弹丸向前加速运动而产生的轴向惯性力.根据牛顿第二定律可求得加速度  $a$ ,其表达式为<sup>[1]</sup>:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{p\pi r^2}{m}$$

其中: $P$ 为膛内计算压力; $r$ 为弹丸半径.

在求得弹丸的加速度后,即可求得作用在弹丸任一断面  $nm$  上的惯性力  $F_n$ ,其表达式为:

$$F_n = m_n a = p\pi r^2 \frac{m_n}{m}$$

其中  $m_n$  为  $nm$  断面以上部分弹丸质量.

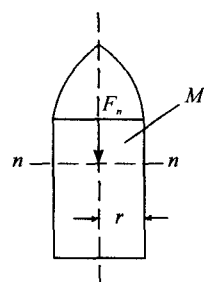


图1 作用  $nm$  断面上的惯性力

由于弹丸各断面的质量是不相等的,故各断面上所受的惯性力也不相等,越靠近弹底,  $m_n$  越大,  $F_n$  也越大,所以对于圆柱部,其危险截面在圆柱部的底部.

### 1.2 灭火剂压力

由于轴向惯性力的作用使灭火剂下沉,从而产生轴向压缩径向膨胀.灭火剂产生对弹壁的压力为计算轴向惯性力引起的灭火剂压力,做如下假设<sup>[1]</sup>:

- 1) 灭火剂为均质理想的弹性体;
- 2) 弹体壁为刚性,在灭火剂的挤压下不变形;
- 3) 灭火剂对弹壁的挤压方向为法向方向.

在断面内壁处的灭火剂上取一微元体,其3向主应力分别为  $\sigma_x$ ,  $\sigma_r$  和  $\sigma_t$  (见图2),  $\sigma_r$  即为灭火剂对弹壁的法向压力.根据弹性理论,由应力引起的3个方向的变形分别为:

\* 收稿日期:2008-04-21

作者简介:桂潜波(1981—),男,四川达州人,硕士研究生,主要从事机电系统CAD技术的研究.

$$\epsilon_z = \frac{1}{E_c} [\sigma_z - \mu_c (\sigma_r + \sigma_t)]$$

$$\epsilon_r = \frac{1}{E_c} [\sigma_r - \mu_c (\sigma_z + \sigma_t)]$$

$$\epsilon_t = \frac{1}{E_c} [\sigma_t - \mu_c (\sigma_z + \sigma_r)]$$

其中:  $E_c$  为灭火剂的弹性模量;  $\mu_c$  为灭火剂的泊松系数。

根据第 2 个假设, 弹壁不发生变形, 则灭火剂的径向和切向也不发生变形, 即:

$$\epsilon_r = \epsilon_t = 0$$

与上面 3 个方程联立即可得出:

$$\sigma_r = \frac{\mu_c}{1 - \mu_c} \sigma_z$$

轴向应力  $\sigma_z$  是由于灭火剂在轴向惯性力的作用下产生的<sup>[2]</sup>, 根据前述对惯性力的分析, 可类似得出灭火剂的轴向惯性力  $F_{un}$ , 其值为:

$$F_{un} = m_{un} a = p \pi r^2 \frac{m_{un}}{m}$$

其中  $m_{un}$  为断面上部的灭火剂质量。

从而可以求出轴向应力  $\sigma_z$  的值:

$$\sigma_z = \frac{F_{un}}{\pi r_{un}^2}$$

其中  $r_{un}$  为断面上弹壳的内径。

可求出轴向惯性力引起的灭火剂压力  $P_c$ , 其表达式为:

$$P_c = \sigma_r = \frac{\mu_c}{1 - \mu_c} p \frac{r^2}{r_{un}^2} \cdot \frac{m_{un}}{m}$$

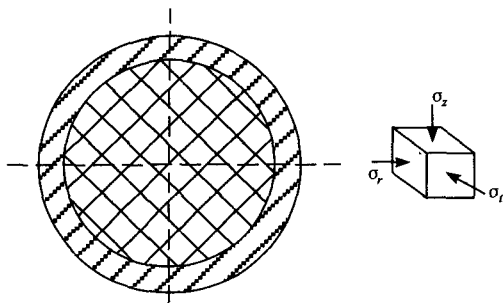


图 2 装填物微元体上的应力

## 2 圆柱部结构设计及计算

根据以上对弹体圆柱部在发射膛内的受力分析, 可以得出影响圆柱部部分发射安全性的主要因素是轴向惯性力和因为轴向惯性力引起的装填物压力, 所以圆柱部的结构强度必须满足这 2 个载荷的要求, 载荷引起的变形才不至于导致弹体剪切破裂。针对载荷要求, 可将圆柱部的结构设计成如图 3 所示的结构。

圆柱部采用 3 根立柱的形式承受轴向惯性力, 3 根立柱均匀分布于外围圆周上, 上端与弹头部成一体化结构, 构成整个上弹体, 下端采用一部分环形结构, 便于与下弹体采用螺纹方式连接, 每根立柱承受三分之一的轴向惯性

力, 其材料采用 D60 钢, 尺寸的大小根据惯性力的大小进行设计。圆柱部的壳体部分采用铝合金材料或 ABS 树脂材料, 包裹战斗部中的灭火剂, 承受由惯性力引起的灭火剂对弹壁的压力, 并在壳体部分预制弹槽, 以利于形成集中应力使壳体破裂。这种结构设计不仅有利于减轻弹体的质量, 增加射程, 也可有效控制破片带来的安全性隐患。由于预设计灭火弹的形状与照明弹的形状基本相似, 均采用超长圆柱部结构, 两者具有相同的弹形系数, 所以可根据 PP87 式迫击炮照明弹的设计参数, 初步估计灭火弹的部分尺寸参数, 根据发射安全性要求, 校核上述圆柱部的设计是否合理。

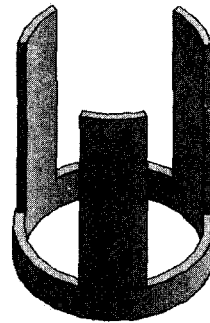


图 3 圆柱部结构设计草图

假设灭火弹上弹体的质量  $m_n = 1.3$  kg, 全弹质量  $m = 4.2$  kg, 计算膛压  $p = 65.2$  MPa, 半径  $r = 0.040 07$  m, 装填物半径  $r_{un} = 0.037 40$  m, 圆柱部长度  $l = 200$  mm, 灭火剂的装填密度<sup>[3]</sup>设为  $0.85 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup>。根据圆柱部的受力特征, 只需要校核圆柱部底端截面即可。

灭火弹发射加速度为:

$$a = p \pi r^2 / m = 65.2 \times 3.14 \times 40.07^2 / 4.2 = 782 65 \text{ m/s}^2$$

根据强度校核公式:

$$\sigma = a m_n / s < [\sigma_s]$$

其中  $s$  为截面积, 即 3 根立柱的面积之和。

因为上弹体的材料为 D60 钢, 屈服极限为  $\sigma_s \geq 323.4$  MP, 则每根立柱的面积至少为  $104.9$  mm<sup>2</sup>, 而照明弹圆柱部底部的截面面积为  $649.5$  mm<sup>2</sup>, 说明普通迫击炮弹的圆柱部部分为了同时满足轴向惯性力和灭火剂压力及考虑到破片因素而使弹壁加厚, 在灭火弹的设计中, 如果还依照此法, 则造成材料的浪费, 造价的提升, 不利于灭火剂的爆炸抛撒, 所以完全可以用立柱的形式代替 D60 钢的全包围圆柱形弹壳结构承受惯性载荷。

再由上述推导的轴向惯性力引起的灭火剂压力公式,  $\mu_c$  取值为 0.35, 可得:

$$P_c = \sigma_r = \frac{\mu_c}{1 - \mu_c} p \frac{r^2}{r_{un}^2} \cdot \frac{m_{un}}{m} =$$

$$\frac{0.35}{1 - 0.35} \times 65.2 \times 10^6 \times \frac{40.07^2}{37.40^2} \times$$

$$\frac{0.85 \times 3.14 \times 37.40^2 \times 0.2 \times 10^{-3}}{4.2} = 7.42 \text{ MPa}$$

即弹壁部分受到灭火剂的压力为 7.42 MPa。(下转第 73 页)

新概念信息化弹药的研制已取得了令人瞩目的成果。

除此之外,纳米炸弹、基因武器、光炸弹等其它新概念信息化弹药的研究也在加紧进行,在不久的将来,它们也将加入 21 世纪信息化的战争行列。

可以预见,新概念信息化弹药必定会在未来信息化战场上大展风采。

### 参考文献:

- [1] 弹道领域悄然孕育一场革命 新型弹药脱颖而出[EB/OL]. [2006-08-18]. <http://www.mil.eastday.com>.
- [2] 孙业斌,许桂珍.从炸药装药装备现状看 21 世纪发展趋势[J].火炸药学报,2001(1):69-73.
- [3] 王颂康.纵观弹药家族的谱系[J].现代军事,2003(8):61-62.
- [4] 巡飞弹:一种巡弋待机的新型弹药[EB/OL]. [2007-04-19]. <http://www.blog.163.com>.
- [5] 程启东.航空炸弹新技术[J].航空兵器,1988(3):12-16.
- [6] 魏刚.炮射末敏弹可精确锁定目标发动垂直攻[N].解放军报,2007-05-10.
- [7] 毛宪生.装甲目标的“克星”——末敏炮弹[EB/OL]. [2007-02-10]. [www.cjldby.net](http://www.cjldby.net).
- [8] 张磊.当代高功率微波武器的研究进展[EB/OL]. [2005-09-02]. <http://ido.3mt.com.cn>.
- [9] 高敏,袁敬伟.信息化弹药逐鹿未来战场[J].解放军报,2005-06-08(11).
- [10] 郭俊杰.纤维弹药[J].金属世界,2000(5):4-5.
- [11] 项传林.高威力炸药的发展与应用技术[J].火炸药,1997(1):30-33.
- [12] 王涛.美军钻地武器的现状与发展趋势[J].飞航导弹,2004(8):4-8.
- [13] 任武能.美军精确制导弹药的发展趋势[J].国防,2007(2):68-69.
- [14] 王祖典.新一代航空制导武器技术[J].中国航天,2000(11):33-34.
- [15] 世界陆军武器技术发展综述[EB/OL]. [2006-08-27]. <http://www.qfxl.com>.
- [16] 赵锋,张更宇.美国炮兵弹药编制特点及发展趋势[EB/OL]. [2006-01-05]. <http://military.China.com>.
- [17] 袁俊.纳米武器对未来战争的影响[J].中国航天,2001(12):55-56.
- [18] 车华,耿海军.超常规武器发展引人注目[EB/OL]. [2004-09-08]. <http://www.playdaily.com.cn>.
- [19] 基因:制造世界末日的武器[EB/OL].新华网,2006-08-08.
- [20] 王颂康.高新技术弹药剖析与发展[J].轻兵器,2001(1):66-67.

(上接第 27 页)根据材料的力学性能,无论是铝合金还是树脂材料都能满足该力学要求.由于包裹灭火剂的弹壳部分不承受来自上弹体的轴向惯性力,只承受由轴向惯性力引起的灭火剂对弹壁的压力,其值比较小,从而可以使壳体的厚度降低,减轻弹的质量,同时便于爆炸抛撒灭火剂。

### 3 结束语

根据灭火弹的战斗功能原理,对弹药在发射膛内进行受力分析,由过载加速度引起的轴向惯性力和灭火剂轴向过载时产生的横向变形对壳体的作用起着主导作用,是设计壳体的主要依据,并根据此依据提出了对灭火弹圆柱部分创新设计,即采用对称分布的立柱结构形式,使轴向惯性力和由轴向惯性力引起的灭火剂压力采用不同的

结构和材料分别承担.这种结构设计有利于减轻弹的质量,增加射程,更有利于对破片进行有效控制,降低破片的杀伤性,也有利于灭火剂的爆炸均匀抛撒,使弹体的结构更加优化。

### 参考文献:

- [1] 魏惠之,朱鹤松,汪东晖,等.弹丸设计理论[M].北京:国防工业出版社,1985:88-91.
- [2] 华恭,欧林尔.弹丸作用和设计理论[M].北京:国防工业出版社,1975:242.
- [3] 徐晓楠.灭火剂与应用[M].北京:化学工业出版社,2006:461.