

doi: 10.7690/bgzdh.2013.11.008

气动脱壳技术发射破片原理分析

梁磊, 闫光虎, 李强, 严文荣

(西安近代化学研究所第六研究部, 西安 710065)

摘要: 为获得高速破片、稳定弹道性能, 自行设计加工了用于破片发射的气动脱壳弹。分析了该气动脱壳弹气动脱壳的原理及气室的充排气规律, 计算了某火炮发射该气动脱壳弹时不同气孔面积和气室容积下其气室的压力变化, 分析了影响该气动脱壳弹设计的关键因素。分析结果证明: 气孔面积和气室容积在气动脱壳中起着非常重要的作用, 是该种气动脱壳弹设计的关键要素。

关键词: 气动脱壳; 气孔面积; 气室容积; 脱壳力

中图分类号: TJ02 **文献标志码:** A

Principle Analysis of Launching Fragments Based on Gas-Propelled Technology

Liang Lei, Yan Guanghu, Li Qiang, Yan Wenrong

(No. 6 Research Department, Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710065, China)

Abstract: In order to obtain high-speed fragments, stable ballistic performance, designed and processed the gas-propelled sabot-discarding pill for launching fragments. Analyzed the principle of gas-propelled sabot-discarding and the gas-filling and exhaust gas law of gas chamber, the motion of the gas-propelled fragments has been carefully calculated under the different spiracle areas and gas chamber volumes during the discarding process in certain artillery, and the key factor influencing the design of the gas-propelled sabot-discarding pill has been analyzed. The results show that the stoma area and the gas chamber cubage play a very important role in the gas-propelled sabot-discarding motion, it is a key factor of gas-propelled technology.

Key words: gas-propelled sabot-discarding; spiracle area; gas chamber volume; sabot-discarding force

0 引言

现代战争中空袭作战的地位和作用越来越突出, 已成为决定整场战争胜负的重要因素。破片式战斗部是有效拦截武装直升机、导弹等空袭目标的主要手段之一。因其具有结构简单、成本低、杀伤范围广、毁伤效果好、适应各种作战条件等诸多优点, 受到各国越来越多的重视^[1]。

通常采用滑膛枪发射的破片, 其飞行轨迹和着靶姿态不易控制, 容易造成弹道不稳定, 精度差的问题。根据气推式脱壳弹的优点及发射的脱壳原理, 可采用气动脱壳技术发射破片获得高速发射, 解决弹道不稳定的问题^[2]。

笔者结合实际, 依据空气动力学原理设计加工了用于破片发射的气动脱壳弹, 并详细研究了该气动脱壳弹的气室充排气规律和气动脱壳的原理, 建立相应的数学模型, 通过计算, 分析了影响该气动脱壳弹设计的关键因素, 为其破片弹道冲击性能和毁伤研究提供了一种新的手段, 可为该种气动脱壳弹的设计提供指导。

1 脱壳原理

笔者设计加工的主动式气动脱壳弹整体结构如

图 1 所示。弹托为铝制圆柱体, 内部可根据需要加工成不同容积的储气室, 底部专门开有小孔, 与外界大气相通, 用于气室的充气 and 排气。发射药经点燃后, 在膛内迅速形成高温高压气体, 推动整个弹体加速运动, 同时部分火药气体可通过气孔进入弹托内的气室, 进入气室充气阶段, 由于弹托和破片之间的紧密接触以及运动惯性, 两者不会立刻分离, 当弹体离开膛口后, 火药气体随之高速膨胀, 膛内压力迅速降低。此时, 气室内压力大于外界环境压力, 气室内贮存的高压气体经小孔开始向外界环境排气形成推力, 与此同时, 破片借助此推动力与弹托分离, 达到破片的高速稳定发射。

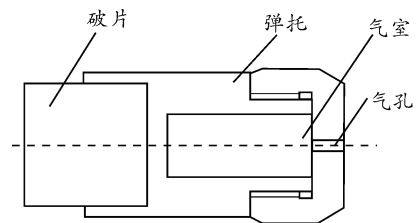


图 1 弹体整体结构

根据以上原理得知, 破片与弹托分离的主要动力来源于气室内的高压气体; 因此, 气室内所能贮

收稿日期: 2013-07-11; 修回日期: 2013-08-12

作者简介: 梁磊(1984—), 男, 新疆人, 硕士, 工程师, 从事新概念发射技术、发射药装药技术研究。

存的气体量以及在弹体出膛口前所能充入气体量的多少, 决定着破片是否能够顺利完成脱壳运动, 即气孔面积和气室容积是气室充排气和气动脱壳运动的关键因素。

2 气室充排气规律及模型的建立

假设火药燃烧后气体为理想气体, 比热比为常数的完全气体; 由于整个燃烧过程所用时间极短, 所以可认为气室内与膛内的气体温度基本一致, 并且火药气体流入流出气室对膛压的影响可以忽略。

膛内弹丸运动规律及火药气体参数变化规律可由以下方程组给出^[3]:

$$\text{形状函数: } \psi = \chi Z(1 + \lambda Z)$$

$$\text{燃速方程: } \frac{d\delta_1}{dt} = u_1 \rho \text{ 或 } \frac{dZ}{dt} = \frac{p}{I_K}$$

弹丸运动方程: 用平均压力和次要功系数 φ 表示的运动方程

$$Sp dt = \varphi m dv \text{ 或 } Sp dl = \varphi m v dv$$

$$\text{内弹道基本方程: } Sp(l + l_\psi) = f m_p \psi - \frac{\theta}{2} \varphi m v^2$$

$$\text{弹丸速度与行程关系式: } \frac{dl}{dt} = v$$

$$\text{其中, } l_\psi = l_0 \left[1 - \frac{\Delta}{\rho_p} - \left(\alpha - \frac{1}{\rho_p} \right) \Delta \psi \right]$$

笔者所设计的弹体, 弹托气室内气体物理参数随外界环境参数变化而变化。在发射阶段, 火药燃烧释放大量燃气, 膛内压力迅速升高, 同时高温高压气体通过气孔向气室充气, 气室内的压力、温度和气体密度随之升高。达到一定条件, 会出现气室内气体向膛内排气的可能, 气室内气体压力也随之降低。在膛外脱壳阶段, 外界压力迅速下降, 而气室内贮有大量燃气, 使气室内气压总高于外界环境气体压力; 因此, 在膛外弹托气室总处于排气状态。

用 $m(t)$ 表示单位时间内流经气孔的气体质量, 即气体质量流量, 假设 $m(t) > 0$ 为外界对气室充气, $m(t) < 0$ 为气室向外界排气, 根据气体连续方程, 则有^[4-7]:

$$\frac{d\rho V}{dt} = m(t) \text{ 即: } d\rho = \frac{m(t)}{V} dt - \frac{\rho}{V} dV$$

其中: ρ 为气体密度, V 为气室容积。

对绝热方程 $p = c\rho^\gamma$ 两边积分, 得到:

$$dp = c\gamma\rho^{\gamma-1} d\rho = \gamma \frac{p}{\rho} d\rho$$

因气室容积恒定, 由上两方程, 推得气室内压

力为

$$dp_0 = \gamma \frac{p m(t)}{\rho V} dt$$

根据完全气体状态方程 $p = \rho RT$, 可有方程组:

$$\rho = \rho_1 + \frac{m(t)}{V} (t_2 - t_1) - \frac{\rho}{V} (V_2 - V_1)$$

$$p_2 = p_1 + \gamma \frac{p m(t)}{\rho V} (t_2 - t_1)$$

$$T_2 = \frac{1}{R} \frac{p_2}{\rho_2}$$

气孔内的气体流动可视为一维管流, 在气室的充气阶段有:

$$\frac{p_0}{p} = \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} Ma^2 \right)^{\gamma/\gamma-1}$$

$$\frac{\rho_0}{\rho} = \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} Ma^2 \right)^{1/\gamma-1}$$

$$\frac{T_0}{T} = \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} Ma^2 \right)$$

式中: 马赫数 Ma 为任一点气流速度与该点气体音速比, p_0 、 ρ_0 、 T_0 为气室参数, p 、 ρ 、 T 为外界参数。

设气孔面积为 A , 气流速度为 u , 则有:

$$Ma = \frac{u}{a} = \frac{u}{\sqrt{\gamma RT}}$$

$$m(t) = \rho Au$$

推导出计算 $m(t)$ 公式, 即:

$$m(t) = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1}} \frac{pA}{\sqrt{RT}} \sqrt{\left(\frac{p_0}{p} \right)^{2/\gamma} - \left(\frac{p_0}{p} \right)^{(\gamma+1)/\gamma}}$$

令 \bar{p} 为气室压力与外界压力之比, 当 \bar{p} 达到一维管流临界压力比 \bar{p}^* 时, 即:

$$\bar{p} = \frac{p_0}{p} = \bar{p}^* = \frac{p_0}{p^*} = \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\gamma/(\gamma-1)}$$

此时, 气孔气体以音速流动, 气体质量流量达到最大值, 即:

$$m(t) = m^* = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma+1}} \frac{pA}{\sqrt{RT}} \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{1/(\gamma-1)}$$

当 $\bar{p} < \bar{p}^*$ 时, 气孔内的气流速度继续维持音速不变, 气体流量也保持最大值 m^* 不变。

随着火药的燃尽, 膛内燃气压力也开始衰减。当气室压力增加到等于膛压, 继而超过膛压时, 气室开始向外界环境排气, 同时推动破片和弹托分离。此时, 气流方向发生改变, 向外界环境排气, 气体

流动继续满足类似上述的规律。令 \bar{p}' 为外界压力与气室压力之比， \bar{p}^* 为对应的临界压力比，即：

$$\bar{p}' = p/p_0$$

$$\bar{p}^* = \frac{p}{p_0^*} = \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\gamma/(\gamma-1)}$$

当 $\bar{p}' > \bar{p}^*$ 时，

$$m(t) = -\sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1}} \frac{p_0 A}{\sqrt{RT_0}} \sqrt{\left(\frac{p}{p_0}\right)^{2/\gamma} - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{(\gamma+1)/\gamma}}$$

当 $\bar{p}' \leq \bar{p}^*$ 时，

$$m(t) = -\sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma+1}} \frac{p_0 A}{\sqrt{RT_0}} \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{1/(\gamma-1)}$$

其中 p_0 、 T_0 为气室参数， p 、 T 为外界参数。

3 计算结果及讨论

笔者应用内弹道理论以及气室充排气规律，以某火炮装药方案为例，计算并绘制了不同气孔面积和气室容积下的 $p-t$ 曲线，分析了其对气室内贮存气体压力的影响。图 2 为通过经典内弹道计算的膛内压力曲线^[8-9]，弹丸出炮口时膛内压力为 4.9 MPa。

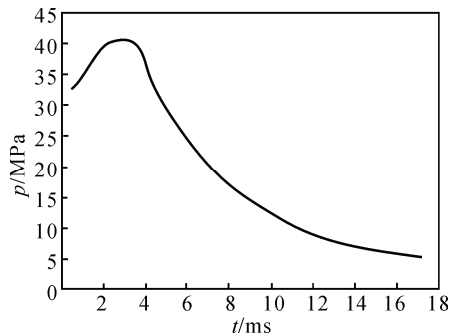


图 2 膛内压力 $p-t$ 曲线

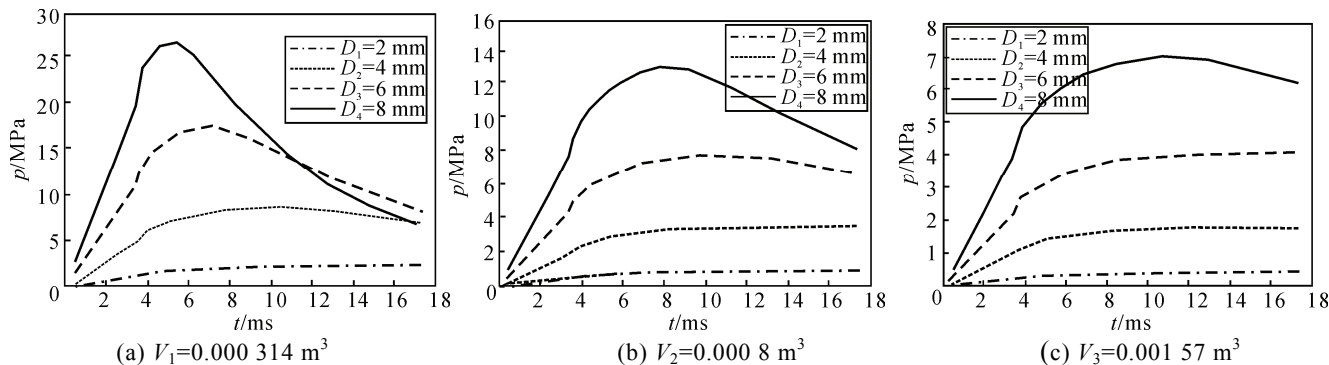


图 3 气孔面积对气室压力影响曲线

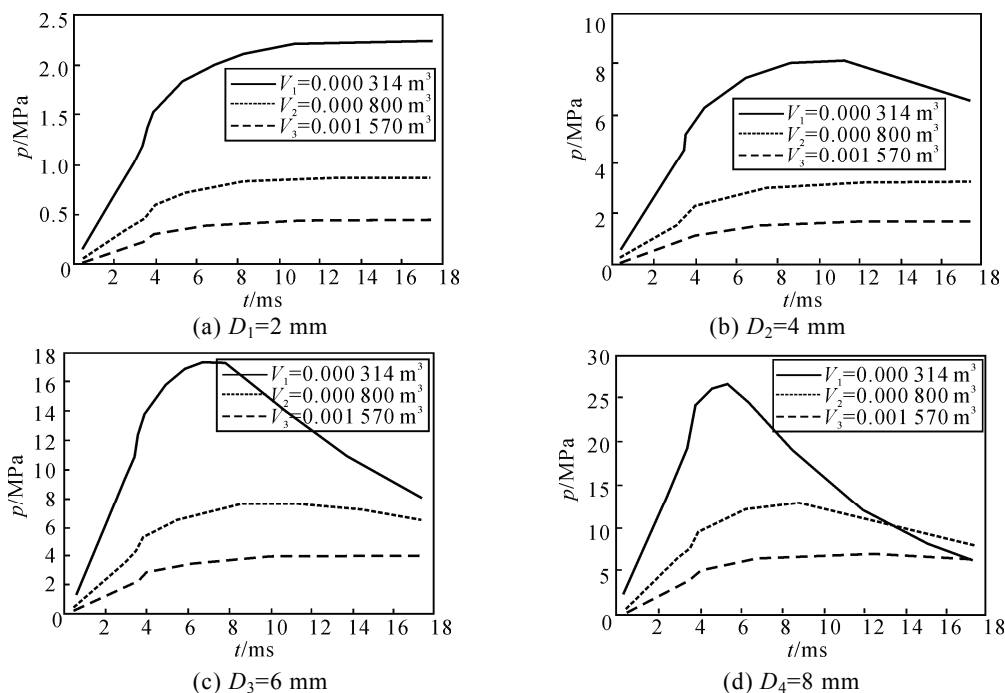


图 4 气室容积对气室压力影响曲线