

【兵器与装备】

# 平板破片的飞散速度及衰减规律\*

张建礼, 罗兴柏, 苟勇强

(军械工程学院, 石家庄 050003)

**摘要:**建立平板破片的速度衰减规律模型. 将阻力系数作为马赫数的线性函数, 对破片质量和等效面积进行修正, 得到了衰减规律的修正公式, 做出平板破片的速度衰减曲线, 并与未进行修正且阻力系数取常数的模型进行对比分析.

**关键词:**平板破片; 飞散速度; 衰减规律

**中图分类号:** O315

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-0707(2008)06-0077-02

弹丸爆炸后, 壳体破碎形成破片, 同时爆轰产物向空气中扩散. 在爆轰产物的作用下, 破片继续加速, 当破片所受的空气阻力与爆轰产物对破片的作用力相互平衡时, 破片速度达到最大值. 此后, 破片速度不断衰减, 当减少到某一值时, 破片不再具有杀伤目标的能力. 利用注装 TNT 柱形装药实施爆炸, 使放在轴向端面的平板破片获得初速, 研究平板破片的速度衰减规律, 对于预防弹药作业场所发生意外爆炸时破片对人员和建筑物的伤害, 以及设置安全防护安全距离有重要意义.

## 1 平板破片的抛掷速度

### 1.1 破片及药柱参数

平板材料选用钢, 其质量为 6.0 g, 符合普通弹丸爆炸破片的质量等级范围, 具体的平板破片参数如表 1 所示.

表 1 平板破片主要参数

材料	$\rho_M/g \cdot cm^{-3}$	$l_1/cm$	$l_2/cm$	$l_3/cm$	$M/g$
钢	7.84	1.6	1.6	0.3	6

爆炸药柱材料为注装 TNT, 形状为柱形, 为了获得尽可能大的轴向爆轰输出, 使平板破片加速到普通破片的初速水平, 将爆炸药柱的高度设为满足  $H_M = 1.5 d$  (其中  $d$  为药柱直径), TNT 药柱的参数见表 2.

表 2 TNT 药柱的主要参数

装药	$\rho_e/g \cdot cm^{-3}$	$H_M/cm$	$d/cm$	$m/g$
注装 TNT	1.56	3.4	2.3	22

### 1.2 整体平板的相当初速<sup>[1]</sup>

当考虑爆轰产物的侧向飞散时, 由于爆轰波传播方向的影响, 爆轰产物在诸方向的飞散并不是均匀的, 导致药柱轴向端面的平板上各微元所获得的速度不同, 因此为了表示整体平板的能量特性, 将整体平板的相当速度作为破片的初速.

假定平板在翻转过程中, 没有质量的损失和质量的径向移动, 设平板诸微元所获得的总能量为  $E_k$ , 略去变形的影响, 则根据能量关系有:

$$\frac{1}{2} M v_b^2 = E_k \quad (1)$$

式(1)中,  $v_b$  为平板所获初速.

两端同时除以  $\frac{1}{2} M D_e^2$  ( $D_e$  为炸药装药的爆速), 并令  $\bar{E}_k = E_k / M D_e^2$  为平板所获得的相对能量, 即得:

$$\bar{V}_b = \frac{v_b}{D_e} = \sqrt{2 \bar{E}_k} \quad (2)$$

式(2)中,  $\bar{V}_b$  表示平板的相对速度.

通过对平板微元的分析, 经积分及边界条件代入, 整理后得:

$$\bar{E}_k = \frac{1}{2} - 2A - \frac{20}{3} A^2 - 2C\sqrt{B} + \frac{8}{3} A^2 \sqrt{B^3} - C \ln \left[ \frac{2}{\frac{B+1}{2} + \sqrt{B}} \right] \quad (3)$$

其中:  $C = 4A - 2A^2$ ;  $B = 1 + \frac{2}{A}$ ;  $A = \frac{27}{16\mu_0}$ .

$\mu_0$  为爆炸药柱的质量与破片质量之比, 在考虑爆轰产物侧向飞散及大气压力时, 应考虑药柱的有效装药进行计算, 经整理后的计算公式为

\* 收稿日期: 2008-07-10

作者简介: 张建礼(1983—), 男, 河北抚宁人, 硕士研究生, 主要从事报废弹药处理的安全防护研究.

$$\mu_0 = \frac{\frac{md}{2M} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{d}{2H_M}\right)^2}}\right)}{H_M} \quad (4)$$

将表1和表2中的参数代入式(2)~(4)有:

$$\mu_0 = 2.411; A = 0.700; B = 3.857; C = 1.820; \bar{E}_k = 0.0143; V_b = 1137.30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}.$$

平板破片获得的初速为  $1137.30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 符合弹丸破片初速一般在  $600 \sim 1500 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  的要求, 具有一定的代表性.

## 2 破片速度衰减规律

### 2.1 研究原理<sup>[2]</sup>

破片在空中运动时受空气阻力和重力作用, 但由于破片初速高, 飞行时间短, 重力的作用可略去不计. 因此破片运动方程可写为

$$M \frac{dV}{dt} = -\frac{1}{2} C_x \rho S v^2 \quad (5)$$

式(5)中:  $C_x$  为破片飞行的空气阻力系数;  $S$  为破片飞行的迎风面积,  $\text{m}^2$ ;  $\rho$  为破片飞行处的空气密度,  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ;  $V$  为破片瞬时飞行速度,  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

对式(5)进行积分计算, 并赋予破片迎风面积  $S$  和空气阻力系数  $C_x$  的值, 即可求得破片在任一距离  $r$  处的存速  $V_r$ , 进而可以掌握破片的速度衰减规律.

### 2.2 破片迎风面积计算

由于破片在飞行过程中做无规则的翻转, 因此在不同时刻或不同距离上, 破片的实际迎风面积值是一个随机变量, 可以用一个等效不变的面来评价它对阻力的影响. 对于平板破片, 这个面积就是当破片自由旋转时, 3 对表面在前进方向投影面积的期望值. 由此可以导出:

$$S = \frac{4}{\pi} (l_1 l_2 + l_2 l_3 + l_3 l_1) \quad (6)$$

将已知数据代入式(6)可得  $S = 4.9283 \text{ cm}^2$ .

### 2.3 破片阻力系数

阻力系数  $C_x$  与破片速度和形状有关, 形状已知的破片飞行阻力系数是马赫数  $M_0$  的函数(破片速度与音速的比值), 在粗略估计时,  $C_x$  的值可以近似取为常数, 对于本平板破片可取  $C_x = 1.24$ , 这样计算有一定的误差. 由于破片飞行中速度不断变化, 阻力系数也在不断变化, 为了精确计算, 根据试验研究, 工程上将  $C_x$  进行线性化处理,  $C_x$  与  $M_0$  关系可近似取为线性关系, 本平板破片按菱形破片近似为<sup>[3]</sup>

$$C_x = P + Q M_0 = 1.45 - 0.3898 M_0 \quad (7)$$

### 2.4 破片的速度衰减规律

若将  $C_x$  和  $S$  看作常数, 对式(5)进行积分, 可得

$$V_R = V_0 \exp\left(-\frac{C_x \rho S}{2M} R\right) \quad (8)$$

在式(8)中代入破片迎风面积  $S$  和按常数计算的空气阻力系数  $C_x$ , 即可求得破片的存速  $V_R$ , 获知破片的速度衰减规律.

然而装药爆炸时会使破片质量降低, 因此通过对破片阻力系数、质量和等效面积进行修正<sup>[1]</sup>, 式(5)变为

$$(K_m m_T) \frac{dV}{dt} = -\frac{1}{2} \rho (K_s S_T) V^2 (P - Q M_0) \quad (9)$$

式中:  $m_T$  为破片的理论设计质量,  $\text{kg}$ ;  $S_T$  为破片的理论等效面积,  $\text{m}^2$ ;  $K_m$  为破片质量修正系数,  $K_m = 0.85$ ;  $K_s$  为破片等效面积修正系数,  $K_s = 1.25$ .

取海平面装药静态爆炸, 即  $\rho = \rho_0 = 1.226 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , 对式(9)进行积分、整理得:

$$V = \frac{P V_0}{P - Q \frac{V_0}{C_0} \left[1 - \exp\left(-P \frac{K_s}{2K_m m_T} \rho_0 S_T R\right)\right]} \exp\left(-P \frac{K_s}{2K_m m_T} \rho_0 S_T R\right) \quad (10)$$

其中  $C_0$  为音速, 取  $340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

分别代入已知数据, 则式(8)和式(10)为

$$V_{R1} = 1137.3 \exp(-0.06243R) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \quad (11)$$

$$V_{R2} = \frac{1649.085}{\exp(-0.10737R)} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \quad (12)$$

作出两破片速度衰减规律的曲线如图1所示. 通过2条曲线进行观察, 可以看出当把阻力系数视为常数计算时, 平板破片的速度衰减较慢, 破片在113 m时还具有  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  的速度; 而把阻力系数按马赫数的线性函数计算, 并进行一定修正后, 破片的衰减较快, 当距离为67 m时速度就已经衰减到了  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 衰减到同一速度值时飞行距离减少了41%.

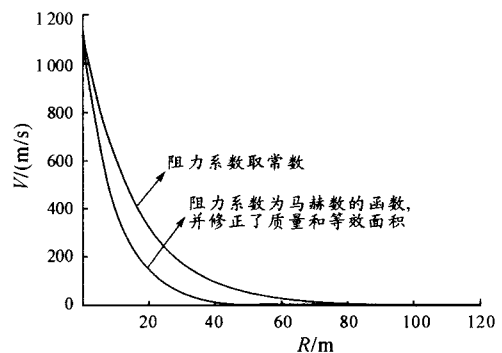


图1 2种速度衰减曲线对比

根据破片的杀伤标准, 美国规定动能大于78 J的破片为杀伤破片, 低于78 J的破片则被认为不具备杀伤能力, 我国规定的杀伤标准为98 J, 麦克米伦(Memillen)和格雷(Gregg)提出  $75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  侵彻速度为标准<sup>[4]</sup>. 对于不同杀伤标准, 用2种衰减规律分别计算杀伤范围对比见表3. 其中杀伤距离1是根据式(11)计算, 杀伤距离2是根据式(12)计算, 距离偏差是距离1相对于距离2的增加幅度. 结果表明, 对于不同杀伤标准, 按2种衰减规律计算, 杀伤距离偏差在60%以上.

(下转第81页)

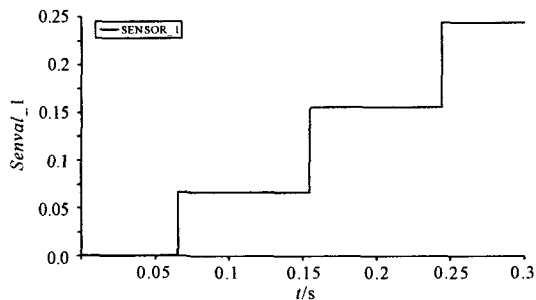


图6 触发器触发时机

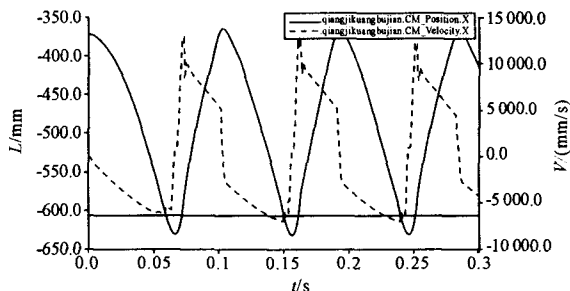


图7 枪机框位移、速度曲线

表1 自动机运动仿真数据与试验数据对比

	射击 周期/s	后坐最大 速度/(m/s)	后坐到位 速度/(m/s)	复进开始 速度/(m/s)	复进到位 速度/(m/s)	后坐距离/ mm
试验数据	0.096 5	10.500	4.46	2.660	6.426	265.0
仿真数据	0.089 4	12.166	4.93	2.707	6.300	261.3

## 5 结束语

本研究通过建立某型高射机枪自动机虚拟样机并对其进行三连发射击仿真,对比仿真数据与试验数据,证明所建立的虚拟样机模型具有较高的可信性,为虚拟样机进行结构参数优化和该型高射机枪进行结构改进奠定了基础。

## 参考文献:

[1] 刘雷,陈运生.火炮虚拟样机仿真研究[J].系统仿真

学报,2005(1):111.

- [2] 陈立平,张云清,任卫群,等.机械系统动力学分析及ADAMS应用教程[M].北京:清华大学出版社,2005.
- [3] 杜中华,韩国柱,王瑞林.火炮设计原理[M].石家庄:军械工程学院,2007.
- [4] 徐诚,王亚平.火炮与自动武器动力学[M].北京:北京理工大学出版社,2006.
- [5] 陈锦喜.某型重机枪动力学仿真研究[D].石家庄:军械工程学院,2008.

(上接第78页)

表3 破片杀伤距离对比

标准 分类	美国 78 J 标准	我国 98 J 标准	$75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 速度标准
破片速度值/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	161.25	180.74	75
杀伤距离 1/m	32	30	44
杀伤距离 2/m	19	18	26
距离偏差/%	68.42	66.67	69.23

## 3 结束语

通过建立、修正平板破片的速度衰减模型,相比而言,用式(11)计算破片杀伤会使杀伤范围过分夸大,计算破片

防护也会导致标准过范而无端浪费相关资源,因此应选用更准确的理论方法,用修正模型来研究平板破片的速度衰减规律更合适,对于研究破片杀伤范围和设防安全距离有重要的意义。

## 参考文献:

- [1] 孙业斌.爆炸作用与装药设计[M].北京:国防工业出版社,1987.
- [2] 马永忠,李其祥,杨光.对弹丸破片速度衰减规律的探讨[J].弹箭与制导学报,2000(3):59.
- [3] 隋树元,王树山.终点效应学[M].北京:国防工业出版社,2000.
- [4] 王儒策,赵国志.弹丸终点效应[M].北京:北京理工大学出版社,1993.