

文章编号: 1001-1455 (2000)02-0131-06

多束破片聚焦式杀伤战斗部 毁伤目标的仿真

何广军¹, 高福利¹, 刘 彤²

(1. 空军工程大学导弹学院, 陕西 三原 713800)

(2. 中物院结构力学研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要: 论述了多束破片聚焦式杀伤战斗部毁伤目标的特点, 提出了破片聚焦式杀伤战斗部毁伤目标取决于导弹的制导误差和引战配合效率。给出了一种典型多束破片聚焦式杀伤战斗部毁伤某歼击机目标时, 单发杀伤概率的计算实例。

关键词: 多束破片聚焦式杀伤战斗部; 杀伤概率; 仿真

中图分类号: O389 文献标识码: A

1 引 言

破片聚焦式杀伤战斗部爆炸后形成密集环状破片流, 对目标结构“切割”杀伤, 增大了战斗部对目标的毁伤效果, 适用于防空导弹战斗部。但是, 单束聚焦式杀伤战斗部的破片流覆盖目标的宽度很窄, 对引战配合要求较高, 难于对付现代高速、机动的空中目标。为了既能满足破片在较大区域内覆盖目标, 又能保持战斗部对目标的“切割”式毁伤效果, 最佳设计方案之一是设计多束破片聚焦杀伤战斗部, 这种战斗部具有破片飞散区域大, 对目标的毁伤效果好、引战配合效率高等优点。

2 破片聚焦式杀伤战斗部毁伤目标的数学模型

破片聚焦式杀伤战斗部毁伤目标取决于导弹的制导误差、引战配合效率及目标的易损特性等, 因此, 必须建立典型导弹的制导误差、引信、战斗部和典型目标毁伤的数学模型。为了简化制导误差的数学模型, 可采用以脱靶量作均值, 取系统误差、动态误差和起伏误差等均方和作方差, 按照正态分布取随机数。导弹的制导误差取决于从导弹发射到导弹距离目标制导误差点的全过程, 对导弹和目标初始参数的取值也应保证在其杀伤区内, 因此, 还有必要建立导弹发射区和杀伤区的数学模型。

2.1 导弹发射区和杀伤区的数学模型

导弹武器系统的杀伤区是武器系统战斗技术性能的集中表现, 它是一个空间区域, 表示在此区域内杀伤目标的概率不低于给定的数值。弹目在杀伤区内位于不同的位置时, 导弹的制

* 收稿日期: 1999-02-08; 修订日期: 1999-06-14
基金项目: 中国工程物理研究院科学技术基金项目 (96030415)。
作者简介: 何广军 (1965—), 男, 硕士, 讲师。

导精度不同,目标的特性(飞行特性、电磁散射特性、红外辐射特性等)也不同,从而得出的单发杀伤概率也就不同。杀伤区可以在地面直角坐标系中描述,它的空间形状为三维体。某典型的防空导弹武器系统的杀伤区如图1所示,图中 R 、 H 和 P 分别为杀伤区内的斜距、高度和航路捷径。满足如下关系

$$\frac{R^2}{R_{\max}^2} + \frac{H^2}{H_{\max}^2} + \frac{P^2}{P_{\max}^2} \leq 1 \quad (1)$$

式中: R_{\max} 为杀伤区的远界, H_{\max} 为杀伤区的高界, P_{\max} 为最大航路捷径。

杀伤区近界主要受跟踪制导雷达天线最大仰角限制。由图2可知,目标航路角 q 由下式表示

$$\tan q = \frac{y}{\sqrt{x^2 + z^2}} \quad (2)$$

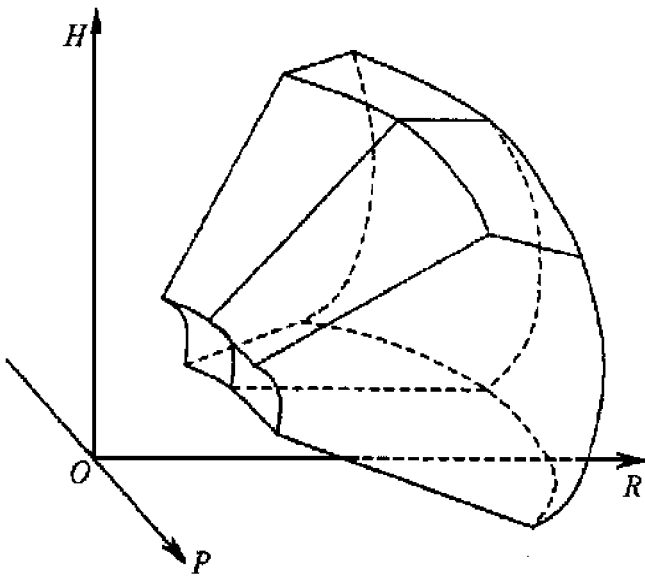


图1 防空导弹的杀伤区

Fig.1 Aerial defence missile lethal region

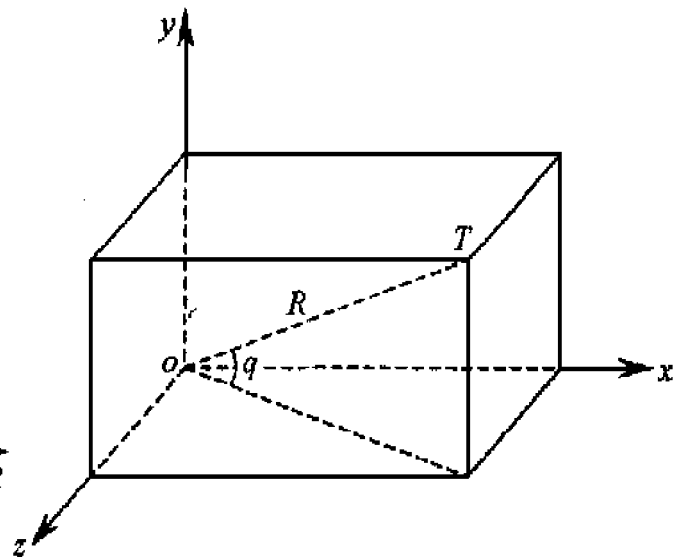


图2 目标航路角示意图

Fig.2 Air-lane angle of aircraft

综合考虑各种因素,对该防空导弹武器系统近似认为目标最大航路角 $q_{\max} = 80^\circ$,那么

$$y \leq \sqrt{x^2 + z^2} \tan q_{\max} \quad (3)$$

导弹发射区的形状与杀伤区大体相似,可根据建立杀伤区模型的方法来建立,也可由导弹速度、飞行斜距与飞行时间之间的关系反推而获得。

2.2 引信的数学模型

引信的数学模型主要包括引信延迟时间的数学模型和引信启动区的数学模型。现代的防空导弹引信一般根据导弹和目标的动态特性取分档延时或自适应延时,因此引信延迟时间的数学模型须根据延时体制、延时的大小和延时误差采用取随机分布数的方法建立其模型。引信延迟时间的大体范围一般是在导弹发射时由地面根据目标在发射区的位置来确定,因此有必要建立发射区的数学模型。

引信启动区是指导弹在遭遇段接收目标信号后引爆战斗部时,目标中心相对战斗部中心的所有可能位置的分布区域。一般有两种表示方法,一种是在导弹弹体坐标系中的表示法,另

一种是在相对速度坐标系中用触发线法来表示。在相对速度坐标系内,引信的启动角 Ω_f 为启动距离 R_i 的函数,满足 Ω_f 角度所构成的触发点的集合即为引信触发线, $\Omega_f(R_i)$ 可表示为

$$\Omega_f(R_i) = \Omega_{f0} + \Delta\Omega_f(R_i/R_{\max}) \quad (4)$$

式中: Ω_{f0} 为无线电引信天线主瓣倾角或光学引信主光轴倾角; R_i 为第 i 个触发点距离引信天线或光学窗口中心的距离; R_{\max} 为引信对给定目标的作用距离; $\Delta\Omega_f(R_i/R_{\max})$ 是触发线相对 Ω_{f0} 的修正角。对于光学引信来讲,其视场很窄,因此,通常取 $\Delta\Omega_f(R_i/R_{\max})=0$ 。

设在目标坐标系中,目标上有 i_{\max} 个具有一定反射面积的边缘点(这些点就是触发点),坐标为 (x_{ti}, y_{ti}, z_{ti}) , $i=1, 2, \dots, i_{\max}$, 那么这些触发点应满足

$$x_{mi} = R_i \cos \Omega_f(R_i) \quad (5)$$

通过坐标变换,把目标坐标系中 x_{mi} 转换到相对速度坐标系中对应的 $x_r(i)$ 。已知各触发点对应的 $x_r(i)$ 后,引信启动点的数学期望应为 $x_r(i)$ 中最早触及“触发线”的 $x_r(i)$,再考虑延迟时间 τ 所影响的相对距离,就可得到触发点的数学期望

$$M_x(\rho, \theta) = \min_{i=1}^{i_{\max}} x_r(i) + v_r \cdot \tau \quad (6)$$

式中: v_r 为弹目相对速度, ρ 和 θ 分别为脱靶量和脱靶方位角。 τ 为引信延迟时间,一般认为它是引信收到超过灵敏度信号时刻到引信给出起爆信号时刻的时间间隔。

2.3 目标毁伤的数学模型

目标毁伤模型主要有两类。一类为要害舱段杀伤模型,它假设目标由几个要害舱段组成。这类模型要求每个舱段给出它的几何尺寸、位置和性质,因此在给定具体目标,且对目标的易损性非常清楚的情况下可用此模型。这类模型常用于分析破片杀伤式战斗部对目标的毁伤。另一类为直杆杀伤模型,每条直杆分别代表机身、机翼、发动机舱等目标的易损构件。这类模型简化了计算,便于在不对目标结构详细分析时使用。

破片聚焦式杀伤战斗部在破片的飞散带内破片密集,对目标的毁伤主要是切割作用,可以近似地认为,在制导误差范围内,当战斗部的环状破片流中心的圆锥面与目标的任一直杆相交时,就认为目标受到一定概率的毁伤,否则目标就未毁伤。

对直杆模型中各直杆的选取应以能够代表该部位的毁伤特性为原则。比如,对机身来讲,前端一般为头部雷达天线罩,在确定直杆时不应计算在内,尾喷管的一部分也可忽略。对于机翼,等效直杆的一端取飞机的尖弦中间点,另一端确定方法如下:将尖弦中点与根弦中点连线,此线与 x 轴的交点即为等效直杆的另一端。

3 破片聚焦式杀伤战斗部毁伤目标的仿真

目标直杆与破片飞散带的交会图如图3所示。设 K_j 为第 j 根直杆与动态飞散锥 $\Omega(\omega)$ 是否相交的判别系数,则

$$K_j = \frac{\Omega_{j1} - \Omega(\varphi_1)}{\Omega_{j2} - \Omega(\varphi_2)} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

式中 m 为战斗部动态飞散锥触击目标直杆数。

如果 $K_j \leq 0$, 则直杆与飞散锥 $\Omega(\omega)$ 相交,否则不相交。交点坐标的方位角和倾角 φ, Ω 和弹体直角坐标 (x_j, y_j, z_j) 可以用线性插入法求解

$$\varphi = (\varphi_2 - K_j \varphi_1) / (1 - K_j) \tag{8}$$

$$\Omega_j = (\Omega_{j2} - K_j \Omega_{j1}) / (1 - K_j) \tag{9}$$

$$x_j = (x_{mj2} - K_j x_{mj1}) / (1 - K_j) \tag{10}$$

$$y_j = (y_{mj2} - K_j y_{mj1}) / (1 - K_j) \tag{11}$$

$$z_j = (z_{mj2} - K_j z_{mj1}) / (1 - K_j) \tag{12}$$

式中： $x_{mji}, y_{mji}, z_{mji}$ ($j=1, 2, \dots, m; i=1, 2$)为第 j 个直杆两端点在弹体坐标系内的坐标。

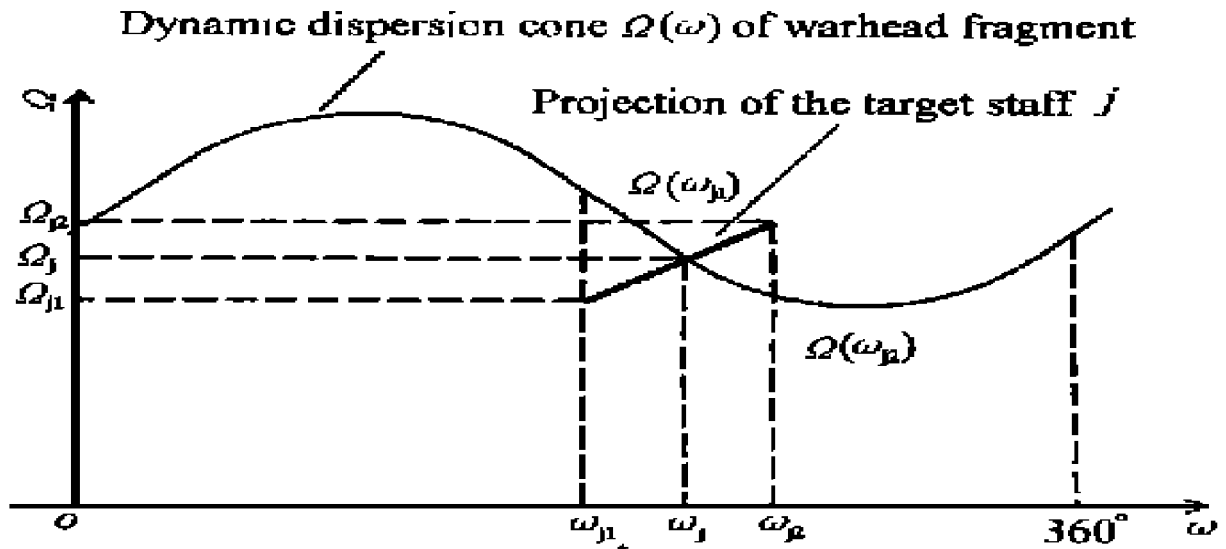


图 3 目标直杆与破片飞散带的交会图

Fig.3 Target staffs and dispersion band of fragment encounter figure

仿真的过程是这样的。第一步，在导弹发射区内按照一定概率随机抽样，得出目标在发射区内相对于制导站的目标航路角，进而确定引信延迟时间的延时组别；第二步，在导弹的杀伤区内根据(1)式，以一定的概率分布随机抽样，按照(5)式经过坐标变换后，得出引信启动时在相对速度坐标系中的坐标位置 $x_r(i)$ ，然后转换到弹体坐标系中；第三步，根据(7)式判别目标是否被毁伤(若相交即毁伤目标, $K_j \leq 0$; 否则就未毁伤, $K_j > 0$)；若毁伤目标，根据(8)~(12)式求出击中点坐标。目标的毁伤还应考虑制导误差，当启动点大于制导误差一定值时，可认为目标未被毁伤。

导弹和目标的初始参数应该根据导弹在杀伤区内的位置随机抽样，必须保证弹目交会位于杀伤区内的概率不低于规定值。

4 仿真举例

取一典型导弹，目标取某歼击机，将目标简化为直杆模型。建立机体坐标系后，对目标各部分直杆端点坐标分别取为(单位:m)

机身	$A_1(5.831, 0, 0)$	$B_1(-5.500, 0, 0)$
左机翼	$A_2(0, 0, 0)$	$B_2(-1.80, 0, 3.0)$
右机翼	$A_3(0, 0, 0)$	$B_3(-1.80, 0, -3.0)$
左水平尾翼	$A_4(-4.446, 0, 0)$	$B_4(-6.1, 0, 1.5)$
右水平尾翼	$A_5(-4.446, 0, 0)$	$B_5(-6.1, 0, -1.5)$
垂直尾翼	$A_6(-2.565, 0, 0)$	$B_6(-5.96, 2.4, 0)$

在弹目交会时, 导弹和目标的俯仰角、偏航角和滚动角范围分别取 $\theta_m = -5^\circ \sim 5^\circ$, $\varphi_m = 10^\circ \sim 50^\circ$, $\gamma_m = -10^\circ \sim 10^\circ$; $\theta_t = -5^\circ \sim 5^\circ$, $\varphi_t = 5^\circ \sim 100^\circ$, $\gamma_t = -10^\circ \sim 10^\circ$; 战斗部破片初速 $v_0 = 2\text{km/s}$, 采用双束战斗部, 取第一束破片飞散方向角 $\varphi_1 = 94.5^\circ$, 第二束破片飞散方向角取值见表1。根据以上两节中的数学模型和判断目标是否与直杆相交的方法, 按照(6)式, 计算的单发杀伤概率随第二束破片静态飞散方向角的值和曲线, 分别见表1和图4。图4中, P 为单发杀伤概率, φ_2 为第二束破片飞散方向角。

表1 单发杀伤概率随战斗部破片飞散方向角的变化

Table 1 Single shot kill probability adapt to dispersion angle of fragment

$\varphi_2 / (^\circ)$	P
106	0.96139
105	0.93317
104	0.86485
103	0.80792
102	0.78812
101	0.75099
100	0.73119
99	0.71139
98	0.69158
97	0.68168
96	0.67178
95	0.65198

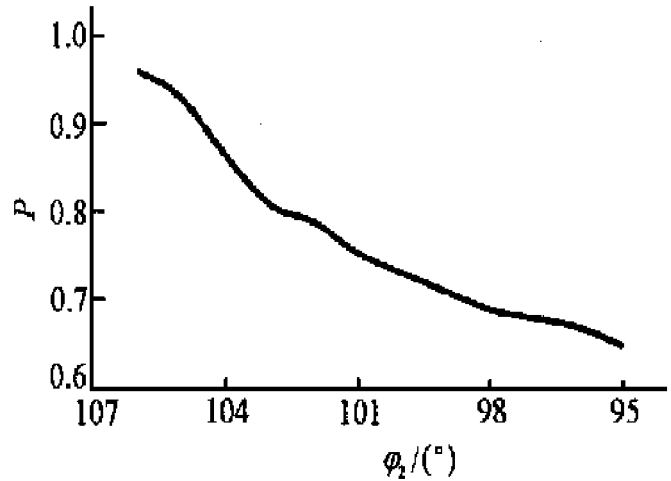


图4 单发杀伤概率随战斗部破片飞散方向角的变化曲线

Fig.4 The curve of single shot kill probability adapt to dispersion angle of fragment

5 结 论

(1)在仿真多束聚焦式杀伤战斗部对目标的毁伤时, 不能仅仅只考虑弹目的终端交会, 而应对影响毁伤概率的导弹的杀伤区、制导误差等作全面分析。

(2)在仿真多束聚焦杀伤式战斗部对目标的毁伤时, 由于破片束对目标的“切割”作用, 可以把目标等效为直杆模型, 既抓住了问题的关键又大大简化了繁杂的计算。

(3)应用本仿真方法, 再加上对战斗部特性和目标特性的分析, 还可以优化战斗部的某些参数, 比如各束的破片放射角、破片的个数以及单枚破片质量等。

(4)应用本仿真方法得出的单发毁伤概率偏低一些, 这是因为破片束中心与目标直杆无交点时被视为无毁伤, 而实际上目标有可能被毁伤。

参考文献:

[1] 张志鸿, 周申生. 防空导弹引信与战斗部配合效率和战斗部设计[M]. 北京: 宇航出版社, 1994. 12.
 [2] 刘 彤, 钱立新, 张寿齐. 防空战斗部破片聚焦方式的研究[J]. 爆炸与冲击, 1997, 17 增刊: 50 ~ 54.
 [3] 侯 健. 双束聚焦战斗部引战配合分析[M]. 北京: 航天工业总公司二院二部, 1996. 11.

The Simulation of a Multi-beam Fragmentation Focus Warhead Damaging the Target

HE Guang-jun¹, GAO Fu-li¹, LIU Tong²

(1. *Air Force Engineering University Missile College, Sanyuan 713800, China*)

(2. *Institute of Structural Mechanics, CAEP, Mianyang 621900, China*)

Abstract: A method to calculate the target-damage probability by ground-to-air missiles was proposed. The method was based on the fact that the probability is determined by the guide-error and fuze-warhead coordination characteristics. The interaction of a double-beam fragmentation focus warhead with a aircraft target was simulated.

Key words: multi-beam fragmentation focus warhead; damaging probability; simulation