

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.04.004

射弹破片三维空间飞散矢量模型

蔡春生¹, 黄贡献¹, 王晓兵²

(1. 解放军南京炮兵学院射击教研室, 南京 211132;
2. 解放军南京炮兵学院研究生管理大队, 南京 211132)

摘要: 针对破片毁伤的关键环节, 对破片飞散规律进行研究。根据实弹射击试验, 得到榴弹破片飞散分布规律, 建立榴弹破片飞散假设, 以此建立榴弹破片飞散场模型; 依据单个破片飞散经纬角和炮弹落角, 建立单个破片静态飞散矢量模型和动态飞散模型, 并以 152 mm 伤爆弹对目标进行毁伤模拟。实验结果表明: 该模型数据在毁伤目标概率 50% 以上时, 与实际实弹试验数据情况基本吻合。

关键词: 破片毁伤; 破片场; 静态飞散矢量; 动态飞散矢量

中图分类号: TJ410.3 **文献标志码:** A

A Three-Dimensional Scattering Vector Model of Shell Fragments

Cai Chunsheng¹, Huang Gongxian¹, Wang Xiaobing²

(1. Staff Room of Firing Directing, Nanjing Artillery Academy of PLA, Nanjing 211132, China;
2. Administrant Brigade of Postgraduate, Nanjing Artillery Academy of PLA, Nanjing 211132, China)

Abstract: Aiming at the key parts of fragment damages, studies the scattering rules of fragments. Based on artillery firing experiments, it finds out the scattering rules of shell fragments, from which it establishes a hypothesis of scattering fragments to construct the model of the fragment scattering field. It establishes the static and dynamic scattering vector models of a single fragment by the scattering angle of longitude and latitude and the angle of fall of shell. It carries on the simulation of targets damage by 152 mm shell. The results are very close to the ones from firing experiment when the probability of targets damage is over 50%.

Key words: fragment damage; fragment field; static scattering vector; dynamic scattering vector

0 引言

在研究破片飞散时, 通常是根据大量实弹实验情况, 整体描述破片在水平面内的飞散情况, 缺少相应的数学模型来描述每个破片的飞散情况。在研究弹丸破片对目标的毁伤时, 需要得到每个破片的空间飞散矢量, 才能研究各个破片对目标的毁伤。因此, 笔者以弹丸与目标接触爆炸瞬间姿态来研究弹丸的破片飞散规律, 依据破片飞散角及经角之间的关系和炮弹弹道倾角建立破片的空间飞散数学模型, 为目标毁伤计算服务。

1 榴弹破片飞散假设

破片飞散是战斗部爆炸后伴随的一种重要现象。弹丸在整个装药各个点上不可能同时起爆, 实际是从离引信起爆接触面部位开始到整个装药起爆完全的过程。当弹体爆炸后, 初始位置的破片各自按着一定的方向飞散, 向前向后的破片较少, 向四周飞散的破片较密集。为方便起见, 假定起爆位置为弹体中心 O , 起爆后爆轰波以球面波向前传播, 把破片速度方向与弹轴弹头方向所成的夹角

$\varphi(0 \sim 180^\circ)$ 称为破片飞散角。破片通过球面向四周飞散, 如图 1 所示。

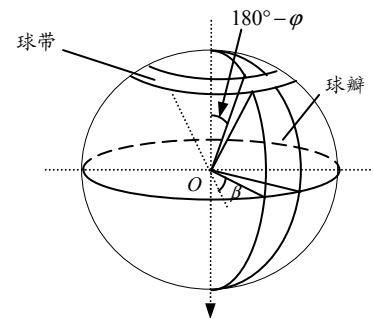


图 1 破片的飞散球面

根据有关实弹试验数据可知, 沿各球瓣飞散出的破片数基本相同, 表面破片的飞散规律与经角 β 无关; 沿各球瓣飞散出的破片数随纬角 φ 方向变化而变化, 具有明显的正态分布特性。因此假设炮弹爆炸形成的破片分布为正态分布。令代表破片沿作正态分布的密度函数, 则有:

$$f(\varphi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(\varphi-\bar{\varphi})^2/2\sigma^2} \quad (1)$$

式中: σ 为 φ 的均方差; $\bar{\varphi}$ 为 φ 的数学期望。

收稿日期: 2011-11-01; 修回日期: 2011-12-28

基金项目: 江苏省自然科学基金资助项目“三维交互技术研究”(BF2008084)

作者简介: 蔡春生(1978—), 男, 山东人, 博士, 讲师, 从事虚拟仿真和射击指挥研究。

$f(\varphi)$ 的曲线形状如图 2 所示, 图 2 中的 Ω 为包含有效破片数的 94% 的飞散角区间。

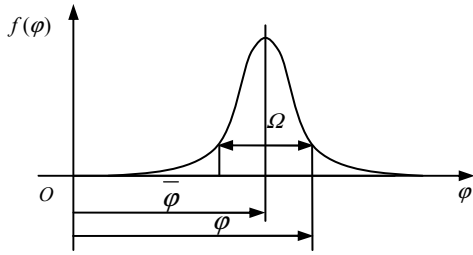


图 2 破片纬角分布正态密度函数曲线

2 弹片飞散模型

2.1 弹片飞散矢量模型

假设炮弹落在炮口水平表面, 弹着点部位没有攻角, 根据破片飞散规律, 弹片飞散矢量用破片飞散纬角、经角和炮弹的弹着点弹道倾角来表示。

首先建立破片飞散坐标系。以爆炸点在水平表面的投影为原点, 以射击方向的水平轴为 Y 轴, 以通过爆炸点的竖直轴为 Z 轴, 由右手定则确定垂直于 Y 轴、 Z 轴的坐标轴为 X 轴, 组成的坐标轴, 称之为破片飞散坐标系, 如图 3 所示。

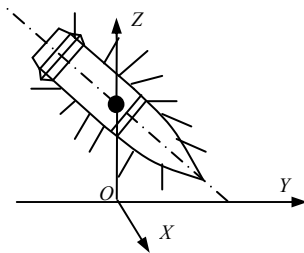


图 3 破片飞散坐标系

根据炮弹落地的情况, 炮弹轴线一般不垂直于 XOY 平面, 设炮弹轴线与 Z 所成角为 θ , 如图 3。

1) 静态飞散矢量模型

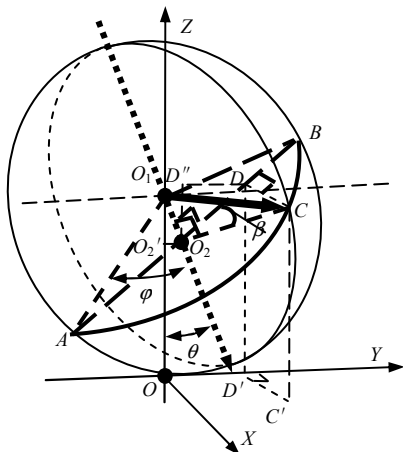


图 4 破片静态飞散矢量图

根据破片分散规律假设, 假定炮弹的爆炸中心

点 O_1 的坐标为 $(0,0,R)$, 炸高为 R ; 设点 A 、点 B 、点 C 分别为破片散布球 O_1 上纬角为 φ 的 3 个点, 且经角分别为 180° 、 β 、 0° , 则 A 、 B 、 C 与 O_1 形成一个圆锥, 若圆心为 O_2 , 则 O_1O_2 为弹轴中心线; 设弹轴轴线与 Z 轴成 θ , 即弹道倾角为 $\theta'_c = 90^\circ - \theta$, 则 $\overline{O_1C}$ 为相应条件的破片飞散方向矢量, 如图 4 所示。

根据破片飞散假设, $\angle BO_2C$ 为破片飞散经角。

在 $Rt\Delta AO_2O_1$ 中, $\angle AO_2O_1 = 90^\circ$, $AO_1 = R$, 所以 $O_2O_1 = R \cos \varphi$; 作一直线垂直于 Z 轴并交于 Z 于 O'_2 , 则 $\Delta O_1O'_2O_2$ 为直角三角形, 那么

$$O_2O'_2 = O_2O_1 \sin \theta = R \cos \varphi \sin \theta,$$

$$O_1O'_2 = O_2O_1 \cos \theta = R \cos \varphi \cos \theta;$$

$$\text{所以, } O_2 \text{ 点坐标为: } \begin{cases} x = 0 \\ y = R \cos \varphi \sin \theta \\ z = R - R \cos \varphi \cos \theta \end{cases}$$

作 CD 垂直于 O_2B 交于 D , 则 $O_2D = R \sin \varphi \cos \beta$ 。

过点 D 作垂直于 Z 轴的直线 DD'' 与过作 Y 轴的垂线 OD'' 相交于 D'' 。

则 D'' 的坐标为:

$$\begin{cases} x = 0 \\ y = R \cos \varphi \sin \theta + R \sin \varphi \cos \beta \cos \theta \\ z = R - R \cos \varphi \cos \theta + R \sin \varphi \cos \beta \sin \theta \end{cases}$$

则 C 点坐标为:

$$\begin{cases} x = R \sin \varphi \sin \beta \\ y = R \cos \varphi \sin \theta + R \sin \varphi \cos \beta \cos \theta \\ z = R - R \cos \varphi \cos \theta + R \sin \varphi \cos \beta \sin \theta \end{cases}$$

则破片速度飞散矢量 $\overline{O_1C}$ 为:

$$(R \sin \varphi \sin \beta, R \cos \varphi \sin \theta + R \sin \varphi \cos \beta \cos \theta, -R \cos \varphi \cos \theta + R \sin \varphi \cos \beta \sin \theta)$$

进行归一化处理, 得破片飞散角度矢量 (速度方向矢量) 为:

$$(\sin \varphi \sin \beta, \cos \varphi \sin \theta + \sin \varphi \cos \beta \cos \theta, -\cos \varphi \cos \theta + \sin \varphi \cos \beta \sin \theta) \quad (2)$$

所以 $\overline{O_1C}$ 为在射弹弹道倾角 $\theta'_c = 90^\circ - \theta$ 的条件下, 破片飞散角为 φ , 经角为 β 的破片飞散矢量。所以此破片飞散方向矢量为:

$$\overline{O_1C} = (\sin \varphi \sin \beta, \cos \varphi \cos \theta'_c + \sin \varphi \cos \beta \sin \theta'_c, -\cos \varphi \sin \theta'_c + \sin \varphi \cos \beta \cos \theta'_c)$$

若弹长为 L , 则可假定炸高为 $L \cos \theta / 2$, 可得直线 O_1C 的方程为:

$$\frac{x}{\sin \varphi \sin \beta} = \frac{y}{\cos \varphi \cos \theta'_c + \sin \varphi \cos \beta \sin \theta'_c} = \frac{z - L/2 \cdot \sin \theta'_c}{-\cos \varphi \sin \theta'_c + \sin \varphi \cos \beta \cos \theta'_c} \quad (3)$$