

doi: 10.7690/bgzd.2022.12.019

# 基于物理杀伤面积的杀爆战斗部最佳炸高计算模型

肖师云, 冯成良, 刘俞平

(重庆红宇精密工业集团有限公司研究一所, 重庆 402760)

**摘要:** 为解决地面目标的多样性和随机性导致平均效率面积难以准确计算的问题, 提出基于物理杀伤面积的杀爆战斗部杀伤威力评定方法, 并以此作为确定杀爆战斗部最佳炸高的依据。由给定的末端弹道参数及杀爆战斗部破片参数, 建立物理杀伤面积的计算模型, 编制计算程序并以物理杀伤面积最大作为确定炸高的条件。计算结果表明: 导弹落速及导弹落角对杀爆战斗部最佳炸高均有较大影响。该方法可作为杀爆战斗部最佳炸高确立以及破片参数优化的依据。

**关键词:** 杀爆战斗部; 杀伤面积; 炸高; 破片杀伤

**中图分类号:** TJ410.2 **文献标志码:** A

## Calculation Model of Optimum Burst Height of Blast-fragmentation Warhead Based on Physical Damage Area

Xiao Shiyun, Feng Chengliang, Liu Yuping

(No. 1 Institute of Chongqing Hongyu Precision Industry Group Co., Ltd., Chongqing 402760, China)

**Abstract:** In order to solve the problem that it is difficult to calculate the average efficiency area accurately because of the diversity and randomness of ground targets, the lethality evaluation method of blast-fragmentation warhead based on physical lethality area is proposed, which is used as the basis for determining the optimal blast height of blast-fragmentation warhead. According to the given terminal ballistic parameters and fragmentation parameters of blast-fragmentation warhead, the calculation model of physical damage area is established, the calculation program is compiled, and the maximum physical damage area is taken as the condition to determine the burst height. The results show that the impact velocity and impact angle of the missile have great influence on the optimal height of the blast-fragmentation warhead. This method can be used as the basis for determining the optimal burst height of the blast-fragmentation warhead and optimizing the fragment parameters.

**Keywords:** blast-fragmentation warhead; lethal area; burst height; fragmentation

## 0 引言

炸高直接影响杀爆战斗部对地面目标的综合杀伤威力, 是对地杀爆战斗部设计的重要参数。最佳炸高一般以杀伤面积最大为条件进行计算<sup>[1]</sup>。杀爆战斗部对目标的综合杀伤威力评定通常采用平均效率面积(mean area of effectiveness, MAE)<sup>[1-3]</sup>。该面积并不是地面上一块真实的面积, 而是杀伤概率的加权面积。在进行目标杀伤概率计算时, 通常基于人员目标并假设目标均匀分布, 杀伤概率计算趋于理想条件。由于地面目标的多样性、目标分布非均匀性、目标姿态的随机性等因素影响, 目标的暴露面积和毁伤概率往往难以准确计算, 导致平均效率面积评定方法的应用受到较大限制。

为解决上述问题, 笔者提出了基于物理杀伤面积的杀伤威力评定方法, 并以此作为确定杀爆战

斗部最佳炸高的依据。在给定的末端弹道条件及战斗部性能参数下, 以物理杀伤面积最大作为优化炸高的目标函数, 通过计算获得给定条件下杀爆战斗部的最佳炸高, 为弹药发挥最佳作战效果提供支撑。

## 1 物理杀伤面积定义

杀爆战斗部打击的地面目标除了人员等有生力量以外, 还包括车辆、地面武器等军事装备。破片杀伤不同目标对破片动能和破片密度的需求不同<sup>[4-6]</sup>。综合考虑破片密度和破片动能的影响, 物理杀伤面积定义如下:

1) 物理杀伤面积为地平面上的一块真实物理面积, 该面积内各点均满足规定的破片打击动能要求和规定的破片分布密度要求, 即满足目标杀伤标准要求。

2) 物理杀伤面积适用于各类地面目标, 既避免

收稿日期: 2022-08-30; 修回日期: 2022-09-28

作者简介: 肖师云(1969—), 男, 重庆人, 硕士, 研究员级高级工程师, 从事弹药工程与毁伤技术研究。E-mail: joonkyy@126.com。

了实战条件下各种随机因素对杀伤面积计算准确性的影响，又能评定杀爆战斗部的杀伤效果。

## 2 物理杀伤面积计算方法

如图 1 所示，以杀爆战斗部的打击弹道线与地平面的交点为原点、地平面为  $XY$  平面建立地面坐标系。

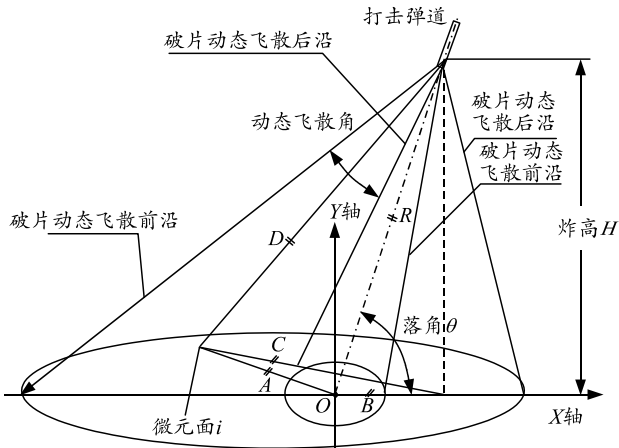


图 1 破片物理杀伤面积计算坐标系

将图 1 所示的地面网格化，设网格微元  $i$  的中心坐标为  $(x_i, y_i)$ ，则微元  $i$  与杀爆战斗部爆心的连线  $D$  与打击弹道线的夹角  $\varphi_i$  为：

$$\cos(\varphi_i) = \frac{H / \sin \theta - x_i \cos \theta}{\sqrt{x_i^2 + y_i^2 - 2x_i H \operatorname{ctg} \theta + H^2 / \sin^2 \theta}} \quad (1)$$

式中： $H$  为炸高； $\theta$  为弹道落角。

已知某破片的静态初速  $V_{si}$ 、静态飞散方向  $\varphi_{si}$ 、导弹速度  $V_m$ ，则破片的动态飞散方向及动态初速可采用余弦定理求解，有：

$$V_{di} = \sqrt{V_{si}^2 + V_m^2 + 2V_{si}V_m \cos \varphi_{si}}; \quad (2)$$

$$\varphi_{di} = \arccos \left[ \frac{(V_m^2 + V_{di}^2 - V_{si}^2)}{(2V_m V_{di})} \right]. \quad (3)$$

式中： $V_{di}$  为某破片的动态初速； $\varphi_{di}$  为某破片的动态飞散方向。

由式(3)可计算得到破片动态飞散区前沿的飞散方向角  $\varphi_{df}$  和破片动态飞散区后沿的飞散方向角  $\varphi_{db}$  (均为与打击弹道线的夹角)，则破片动态飞散角  $\Omega_d$  为：

$$\Omega_d = \varphi_{df} - \varphi_{db}. \quad (4)$$

设杀爆战斗部的破片在飞散区内以飞散中心方向角为对称轴呈正态分布，其分布概率密度函数<sup>[7]</sup>为：

$$f(\Phi) = e^{-(\Phi - \varphi)^2 / 2\sigma^2} / (\sqrt{2\pi}\sigma). \quad (5)$$

式中： $\sigma$  为飞散方向角的均方根差； $\Phi$  为破片飞散方向角 (与导弹航向的夹角)； $\varphi$  为破片飞散中心方

向角。设  $\Omega$  为破片飞散角，取  $\sigma = \Omega / 3.3$ 。

破片的动态飞散规律仍然遵循式(4)，相应的破片飞散参数应为动态条件下的参数。由式(5)可得破片动态飞散区内飞散方向为  $\varphi_i$  的位置点的破片动态分布密度：

$$\gamma_i = N \sin^2 \theta \cdot f(\varphi_i) / (2\pi H^2 \sin \varphi_i). \quad (6)$$

式中  $N$  为破片总数。

破片  $i$  到地面的动态打击距离为

$$D_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2 - 2x_i H \operatorname{ctg} \theta + H^2 / \sin^2 \theta}. \quad (7)$$

破片  $i$  到地面的打击动能  $E_i$  为

$$E_i = 0.5mV_{di}^2 e^{-2kD_i}. \quad (8)$$

式中： $m$  为破片单粒质量； $k$  为破片速度衰减系数。

由式(1)—(7)即可计算破片物理杀伤面积，计算方法如下：

1) 在图 1 的地面坐标系中计算破片动态飞散区前沿的飞散方向  $\varphi_{df}$ 、破片动态飞散区后沿的飞散方向  $\varphi_{db}$ 、破片动态飞散角  $\Omega_d$  和破片动态飞散中心方向角  $\varphi_d$ ；

2) 将地平面网格化，从地面坐标系原点开始，沿  $X$  轴正负方向和  $Y$  轴正方向依次计算微元网格中心点与杀爆战斗部爆心的连线与打击弹道线之间的夹角  $\varphi_i$ ，判断是否满足条件  $\varphi_{db} \leq \varphi_i \leq \varphi_{df}$ ，如不满足上述条件则计算下一网格点，如满足则该地面微元  $i$  位于动态飞散区内，并按式(6)—(8)分别计算微元  $i$  处的破片动态分布密度、破片打击距离和破片打击动能，判断该处破片动态分布密度和破片打击动能是否满足目标杀伤标准 (对人员目标的杀伤标准一般取动能  $\geq 98$  J，破片分布密度  $\geq 1.33$  枚/ $\text{m}^2$ )，如不满足则重新计算下一网格，满足杀伤标准则对网格  $i$  的面积进行累加；

3) 重复步骤 2) 直至计算的微元不在动态飞散区内或其打击动能不满足要求为止，即可获得满足条件的物理杀伤面积  $S$ 。

物理杀伤面积关于  $X$  轴对称，计算 1/2 模型后再乘以 2 即可求得总的物理杀伤面积。

## 3 最佳炸高的确定

杀爆战斗部的破片参数是影响破片杀伤威力的主要因素<sup>[8]</sup>。已知破片静态飞散角  $\Omega$ 、破片静态飞散中心方向角  $\varphi$ 、破片单枚质量  $m_f$ 、破片数量  $N$  和破片初速等参数，结合杀爆战斗部末端的落速和落角参数，即可由前述方法计算给定炸高  $H$  条件下的

物理杀伤面积。通过计算不同炸高条件下的物理杀伤面积，即可得到物理杀伤面积为最大时的炸高，该炸高为给定落速和落角条件下的最佳炸高。

实际环境条件下，杀爆战斗部的末端落速和落角均存在不同程度的散布范围，可取系列特征落速和落角条件下最佳炸高的平均值作为实际应用的最佳炸高，或者依据计算值进行装定设置。

表 1 杀爆战斗部的破片参数

破片初速/(m/s)	静态飞散角/(°)	静态飞散中心方向角/(°)	破片数量/粒	破片单粒质量/g	破片衰减系数/m <sup>-1</sup>
1 900	20	85	5 000	3	0.007 3

笔者针对以上条件计算了不同炸高条件下的物理杀伤面积，得到其物理杀伤面积最大时的最佳炸高为 5.5 m，具体如图 2 所示。

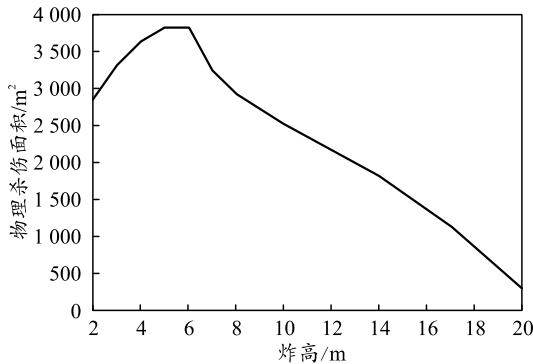


图 2 最佳炸高计算结果

通过进一步计算不同落速、落角条件下的物理杀伤面积，获得了导弹落速及导弹落角对杀爆战斗部最佳炸高的影响规律。

1) 导弹落速对最佳炸高的影响。

如图 3 所示的计算结果表明，导弹落速从 300 m/s 增加到 500 m/s 时，最佳炸高从 5.5 m 增加到 9 m。随着落速的增大，最佳炸高则随之增大。主要原因：导弹落速增加后，破片的动态飞散角将减小，破片动态速度增大，破片动态分布密度和打击动能将增大，因而最佳炸高增大。

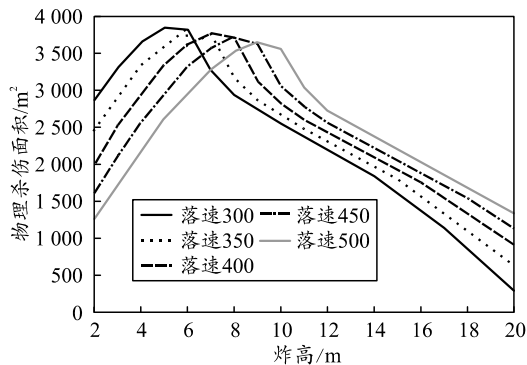


图 3 导弹落速对最佳炸高的影响

2) 导弹落角对最佳炸高的影响。

4 计算实例

根据前述建立的物理杀伤面积计算模型和最佳炸高确定方法，编制计算程序对具体实例进行计算。假设末端弹道参数如下：导弹落速为 300 m/s，落角为 80°，人员目标杀伤动能取 98 J<sup>[9]</sup>，破片密度不小于 1.33 枚/m<sup>2</sup>，杀爆战斗部的破片参数如表 1 所示。

如图 4 所示的计算结果表明，导弹落角从 70° 增加到 90° 时，最佳炸高从 2 m 增加到 10 m。随着落角的增大，最佳炸高随之增大。主要原因：导弹落角增大，破片动态飞散区内破片分布密度和破片飞散路径的对称性增加，避免了小落角条件下弹体上半部破片的动态飞散路径大幅增加导致的破片打击动能不足和破片分布密度过低的现象，有利于增大最佳炸高。

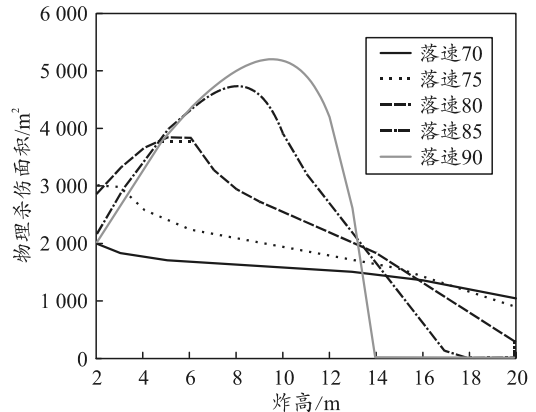


图 4 导弹落角对最佳炸高的影响

从以上计算结果可知：导弹落速及落角变化都将影响最佳炸高，实际应用时需根据末端落速和落角的变化情况合理设置炸高，以确保实现最佳毁伤效果。

5 结论

笔者以物理杀伤面积作为确立最佳炸高的依据，以杀爆战斗部的主要特征参数、导弹落速及落角为条件进行最佳炸高的建模计算，编制了计算程序，并以具体实例计算结果分析了落速、落角对最佳炸高的影响规律。应用该方法确定的最佳炸高可保证杀爆战斗部获得最大的物理杀伤面积，有利于增强实战毁伤效果，可作为杀爆战斗部最佳炸高确立以及破片参数优化的依据。