

基于射击线技术的杀爆战斗部杀伤面积计算

应国森¹,董桂旭¹,肖师云²

(1. 海装重庆局,重庆 400042; 2. 重庆红宇精密工业有限责任公司,重庆 402760)

摘要:针对杀伤面积进行计算时,通常借助统计学原理建立破片的空间分布规律,并向目标方向投影,从而得到破片密度和杀伤面积,提出了采用射击线技术描述全部破片的飞行轨迹参数和威力参数,完成杀伤面积的计算;基于杀爆战斗部破片飞散参数,建立了破片弹道射击线模型;对杀爆战斗部的杀伤面积进行了计算,得到了杀伤面积与导弹落速、落角、炸高之间的变化关系;计算结果表明:在一定的落角和炸高时,随着导弹落速的增加,破片杀伤面积增大;一定的落速和炸高时,随着落角的增加,破片杀伤面积也增大;在设定落速为 500 m/s 时,计算落角分别为 20°、40°、60°、80°、90°均存在一个使杀伤面积最大的炸高,由此可确定杀爆战斗部的最佳炸高。

关键词:战斗部;射击线;杀伤面积

本文引用格式:应国森,董桂旭,肖师云. 基于射击线技术的杀爆战斗部杀伤面积计算[J]. 兵器装备工程学报,2016(11):20-23.

Citation format: YING Guo-miao, DONG Gui-xu, XIAO Shi-yun. Lethal Area Calculation of Blast-Fragmentation Warhead Based on Firing Line Technology[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2016(11):20-23.

中图分类号:TJ727

文献标识码:A

文章编号:2096-2304(2016)11-0020-04

Lethal Area Calculation of Blast-Fragmentation Warhead Based on Firing Line Technology

YING Guo-miao¹, DONG Gui-xu¹, XIAO Shi-yun²

(1. The Naval Armaments Department Bureau in Chongqing, Chongqing 400042, China;

2. Chongqing Hongyu Precision Industry Co., Ltd., Chongqing 402760, China)

Abstract: In view of the lethal area calculation, the spatial distribution regularity of fragment is usually established with the help of statistical principle, and together with projection toward the target direction thus the fragment density and lethal area can be obtained. Firing line technology was presented in this paper to describe the flight trajectory parameters and power parameters of all fragments to complete the lethal area calculation. Based on the fragments dispersion parameters of blast-fragmentation warhead, the fragment ballistic firing line model was established and the lethal area of blast-fragmentation warhead was calculated, thus the relationship between the lethal area and missile falling velocity, falling angle and blasting height change was obtained. Calculations show that at certain falling angle and blasting height, with the increase of falling velocity, the fragment lethal area magnifies; and at a certain falling velocity and blasting height, the fragment lethal area magnifies; and at a certain falling velocity and blasting height, with the increase of falling angle, the fragment lethal area also magnifies. Assume the falling velocity to be 500 m/s, and there is an explosion height which maximize the lethal area when the falling the angle is 20°, 40°, 60°, 80°, 90° respectively, thus the best explosion height of blast-fragmentation warhead can be determined.

Key words: warhead; firing line; lethal area

收稿日期:2016-04-26;修回日期:2016-06-20

作者简介:应国森(1964—),男,高级工程师,主要从事装备技术研究。

杀爆战斗部爆炸时,释放出大量高速破片向外飞散,对其周围的有生目标、技术装备等产生毁伤作用。根据目标在地面的分布情况,通常采用两种指标描述杀爆战斗部对地面目标的毁伤效果。对于地面的单个目标,用其毁伤概率描述;对于地面集群目标,用杀伤面积描述。由于杀伤面积能综合反映破片质量、破片空间分布、破片速度以及导弹落速、落角、炸高等参数对杀伤威力的影响,因此在杀爆战斗部杀伤威力描述中,常采用杀伤面积作为评定标准^[1]。对杀伤面积进行计算时,通常借助统计学原理建立破片的空间分布范围,并向目标方向投影,从而得到破片密度和杀伤面积。本文采用射击线技术描述全部破片的飞行轨迹参数和威力参数,计算杀伤面积。

1 破片射击线模型

对于破片战斗部的研究,一般以破片飞散的静、动态特征参数描述这类战斗部的设计性能,这些参数包括破片质量、飞散方向、飞散角、飞散速度以及破片的分布密度等。在以往模型描述中,一般都借助统计学建立破片在空间分布的统计规律,对应到中靶的有效破片,有关参数如着靶破片数、着靶速度等往往以数学期望表征。这种方法简单易行,但准确性和通用性差,特别是对广义破片战斗部来说并不实用。因此,国内外发展了新型建模方法,即破片描述的射击迹线仿真模型^[2-3]。

在射击迹线模型中,每个破片的弹道被相应的射击迹线模拟,具有确定的标志数、指定的质量、速度、起点和方向。射击迹线在空间方位上是根据一指定的基准点、基准方位和一小区域内的分布特征来确定的,恰好反映了破片的“宏观”可控性和“微观”随机性,因此,该方法用于战斗部仿真模型具有较好的实用性和合理性。

对于任意杀伤元的杀爆战斗部,杀伤元在弹体坐标系中的位置按照行和列排布,则可采用以下参数对杀伤元的射击线进行数学描述:杀伤元起点坐标、杀伤元弹道方向向量、杀伤元质量、杀伤元速度、杀伤元尺寸。设杀伤元的最大行数为 M 、最大列数为 N ,则破片群可用以下矩阵表示:

$$F = \begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} & \cdots & F_{1j} & \cdots & F_{1N} \\ F_{21} & F_{22} & \cdots & F_{2j} & \cdots & F_{2N} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ F_{i1} & F_{i2} & \cdots & F_{ij} & \cdots & F_{iN} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ F_{M1} & F_{M2} & \cdots & F_{Mj} & \cdots & F_{MN} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中 $F_{ij} = [W_{ij} \ S_{ij} \ MA_{ij} \ V_{ij} \ C_{ij}]'$,当 $F_{ij} = NAN$ 时表示该位置无杀伤元。

其中: W_{ij} 为破片 F_{ij} 的起点位置坐标, S_{ij} 为破片 F_{ij} 的弹道方向向量, MA_{ij} 为破片 F_{ij} 的质量, V_{ij} 为破片 F_{ij} 的速度, C_{ij} 为破

片 F_{ij} 的尺寸。

基于 Matlab 编程,矩阵 F 采用元胞矩阵,则以上数学描述广泛适用于任意战斗部结构形状的任意杀伤元。按图 1 建立弹体坐标系,则对于回转体结构战斗部,可得到破片的起点坐标为

$$W_{ij} = (L_{ij}, R_{ij} \cdot \cos\phi_{ij}, R_{ij} \cdot \sin\phi_{ij}) \quad (2)$$

破片射线的方向向量为

$$S_{ij} = (\cos\omega_{ij}, \sin\omega_{ij} \cdot \cos\phi_{ij}, \sin\omega_{ij} \cdot \sin\phi_{ij}) \quad (3)$$

图 1 中, L_{ij} 为破片 F_{ij} 在弹体坐标系中的 X 坐标, R_{ij} 为破片 F_{ij} 的装填半径, ϕ_{ij} 为破片 F_{ij} 在战斗部径向剖面的方向角, ω_{ij} 为破片 F_{ij} 在战斗部轴向剖面的飞散方向。破片 F_{ij} 的初速可根据修正的格尼公式进行计算,破片的质量和尺寸为已知参数。对破片的二维飞散方向的微观随机性分布,引入随机变量 δ_{ij} 和 ε_{ij} 。

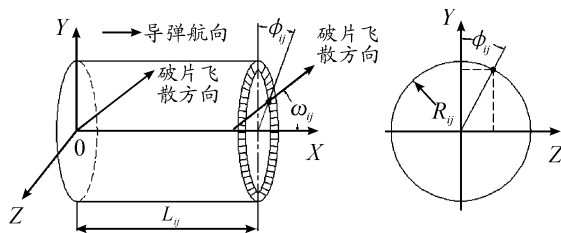


图 1 弹体坐标系中破片飞散方向

根据以上参数和弹目交会参数,可建立在弹体坐标系下破片的静态和动态射击线模型。该模型能较好的描述破片飞散特征,可直接采用试验数据模拟真实的破片杀伤场,用于杀伤面积或毁伤概率计算。图 2 为根据射击线模型得到的含有多种规格破片的破片动态杀伤场图像。

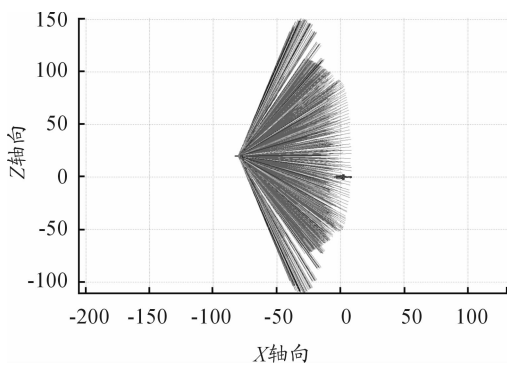


图 2 基于射击线模型的破片动态杀伤场

2 杀伤面积计算模型

假设地面上围绕点 (x, y) 的某一微元面积 $dx \cdot dy$ 内,目标的杀伤概率为 $P_k(x, y)$ 。则在地面直角坐标系中,杀伤面积可定义为

$$S = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} P_k(x, y) dx dy \quad (4)$$

杀伤面积 S 也被称作平均效率面积 (MAE), 它并不是场面上的一块真实的面积, 而是杀伤概率的加权面积。微元面积 $dx \cdot dy$ 内目标的杀伤概率 P_k 按下式计算:

$$P_k = 1 - \exp\left(-\frac{A_T \cdot N_k}{N_s \cdot dx dy}\right) \quad (5)$$

式(5)中: N_k 为满足最小杀伤动能标准的破片数; N_s 为目标毁伤时的最小命中破片数; A_T 为目标受弹面积, 即目标在垂直破片飞行方向上的致伤面积。对于立姿人员目标, 有:

$$A_T = 0.125 + 2.25\sqrt{R^2 - H^2}/(\pi R) \quad (6)$$

对于卧姿人员目标, 有:

$$A_T = 0.125 + 2.25H/(\pi\sqrt{R^2 + (H + 1.5)^2}) \quad (7)$$

式(7)中: R 为战斗部与目标距离; H 为炸高。

根据导弹末端姿态, 建立弹体坐标系和地面坐标系如图 3 所示。

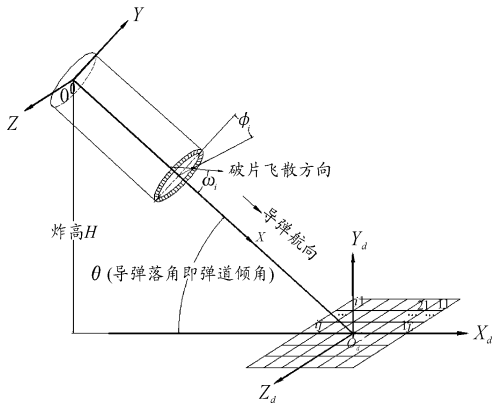


图 3 弹体坐标系和地面坐标系

地面坐标系的原点设在导弹弹轴与地平面的交点 O_d 处, 其在弹体坐标系中的坐标为 $(H/\sin(\theta), 0, 0)$ 。因此, 地面坐标系绕弹体坐标系的 OZ 轴旋转 θ 角即转换到弹体坐标系, 转换矩阵为 $M_Z[\theta]$, 其逆矩阵即为弹体坐标系到地面坐标系的转换矩阵:

$$M_Z[\theta] = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

将地面区域面积进行网格化, 并将任意网格处的杀伤概率与网格面积的乘积累加, 即得到总杀伤面积。由于杀伤面积相对于弹轴对称, 因此只需计算 $0 \sim 180^\circ$ 范围内破片的杀伤面积再乘以 2 倍即可求得总杀伤面积。

3 算例结果

以钨球全预制杀爆战斗部为例, 选取表 1 所示末端参数范围计算杀伤面积。

表 1 计算参数范围

导弹落速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	导弹落角/($^\circ$)	炸高/m
400 ~ 1 200	20 ~ 90	5 ~ 50

图 4 为落角 60° 、炸高 20 m 时杀伤面积随落速的变化情况。计算结果表明: 随着导弹落速的增加, 破片飞散方向前倾, 破片利用率增加, 因此杀伤面积增加。

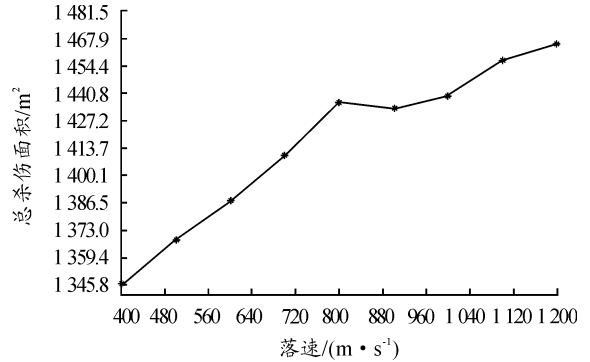


图 4 杀伤面积随落速的变化

图 5 为落速 500 m/s、炸高 10 m 时杀伤面积随落角的变化情况。从图中可见, 随着导弹落角增大, 破片利用率增加, 故杀伤面积也增大。

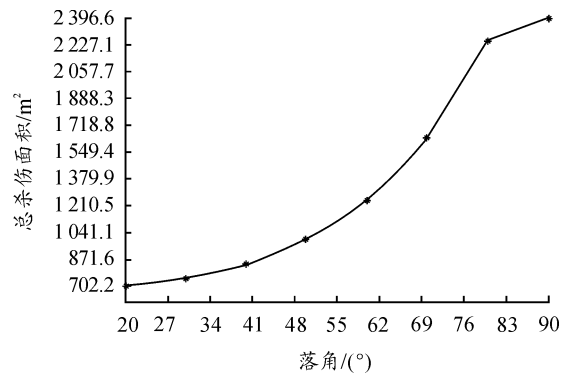


图 5 杀伤面积随落角的变化

图 6 为杀伤幅员分布随落角的变化情况, 杀伤幅员形状随落角的减小从圆形转变为椭圆形, 最后呈现为带形。图 7 为落速 500 m/s、不同落角时杀伤面积随炸高的变化情况。计算结果表明, 随着炸高的增加, 破片杀伤面积增大。从计算结果曲线可以说明, 杀伤面积达到某一峰值后, 由于破片速度衰减, 破片杀伤威力下降, 杀伤面积随后减小。考虑导弹战斗部落角的不确定性, 在不同的落角下, 均存在一个使杀伤面积最大的炸高, 可以综合评估确定一定落速的杀爆战斗部最佳炸高。由此, 其算例结果的也可为战斗部的威力参数设计和毁伤效率评估提供参考依据。

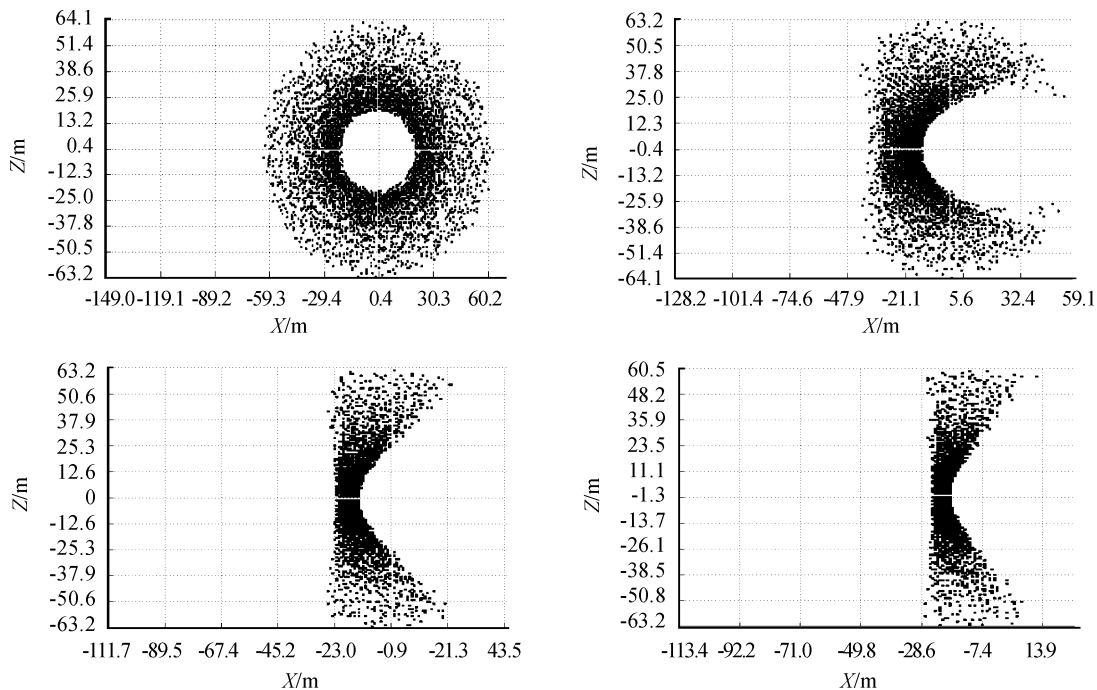


图6 杀伤幅员分布随落角的变化

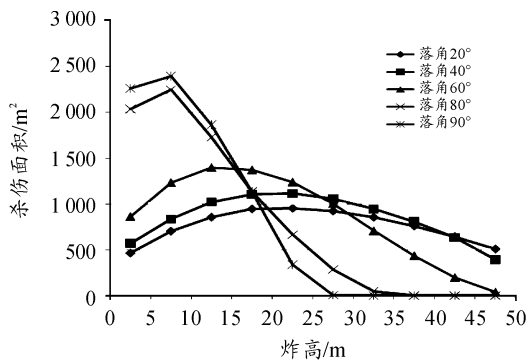


图7 杀伤面积随炸高的变化

4 结论

1) 一定的落角和炸高时,随着导弹落速的增加,破片飞散方向前倾,破片利用率增加,破片杀伤面积增大;2) 一定的落速和炸高时,随着落角的增加,破片利用率增加,破片杀伤面积也增大;3) 假设落速为 500 m/s 时,计算落角分别为 20°、40°、60°、80°、90°均存在一个使杀伤面积最大的炸高,由此可确定杀爆战斗部的最佳炸高值。

参考文献:

[1] 李卫平,汪德武,王少龙.大面积杀爆战斗部最佳爆高的工程算法[J]. 弹箭与制导学报,2008(5):92-94.
 [2] 蒋建伟,卢永刚,钱立新.射击迹线技术在战斗部破片场仿真中的应用[J]. 弹箭与制导学报,2001(1):29-34.

[3] HAVERDINGS W. Gener-description of the missile systems Damage Assessment Code(MISDAC)[P]. ADA288622,1994.
 [4] 何正文,张新伟,吕红超.基于战斗部数值仿真系统繁荣杀伤概率计算[J]. 航空兵器,2012(5):52-55.
 [5] 韩仲瑶,路明,熊波,等.防空导弹对直杆型杀伤模型单发概率计算[J]. 舰船电子工程,2014,34(4):129-131.
 [6] 张晗.地空导弹杀伤区仿真计算模型设计[J]. 微计算机信息,2010,26(34):198-199.
 [7] 杨亚东.可变性定向杀伤战斗部数值模拟研究[D]. 南京:南京理工大学,2009.
 [8] 王铄,李东阳,朱洪涛,等.弹丸爆炸仿真与破片质量统计软件开发[J]. 军械工程学院,2012(1):49-51.
 [9] 朱克忠.一种运动目标检测与跟踪快速算法的研究[J]. 科技资讯,2007(20):254-255.
 [10] 汪德武,李卫平,杨玉斌.杀爆战斗部杀伤面积的数值计算[J]. 弹箭与制导学报,2006,26(4):118-120.
 [11] 徐文亮,吴俊斌,何春,等.破片杀伤型战斗部对典型雷达目标的毁伤研究[J]. 战术导弹技术,2009(4):26-30.
 [12] 高秀娟,金建祥,王林,等.弹丸杀伤半径计算方法研究[J]. 弹箭与制导学报,2012,32(4):106-110.
 [13] 吕勇,石全,钱芳,等.不同时序破片和冲击波在对天线的复合毁伤分析[J]. 火力与指挥控制,2014(3):128-132.