

一类装备战斗损伤概率的近似计算模型

贺筱军, 李安平

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要:根据装备战场损伤评估与修复理论研究的特点和要求,以预制破片式战斗部的反辐射导弹(ARM)为假想威胁,利用解析方法,建立了近似计算 ARM 攻击条件下的制导站部件损伤概率的计算模型。该模型计算结果与仿真结果相当吻合。

关键词:战斗损伤;损伤概率;制导站;近似计算

中图分类号:TH122 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2004)05-0036-03

随着科学技术的发展,现代战争中对地空导弹装备造成威胁的模式越来越多,装备在战场上面临的威胁主要有:空地导弹、核炸弹、航空炸弹、电磁脉冲炸弹等。对于地空导弹制导站来说,在各种威胁当中,反辐射导弹 ARM(Air to Surface Anti Radiation Missile)的威胁是最主要的一种,其中装有预制破片式战斗部的 ARM 占有重要比例。本文限于篇幅,仅以该种 ARM 为威胁展开讨论。

1 装备分析与假设

在分析制导功能站的基础上,按不同功能将其分为几个基本功能子系统或基本功能项目(BFI)。装备的基本功能项目是战场损伤研究以及抢修的对象,即在战伤研究中只考虑对装备完成作战任务有重要贡献的部件。

为便于讨论,将装备(部件)的外形简化为一正交平行六面体,称之为等效易损体。车内各部件也可简化为等效易损体的形式进行讨论。记过装备几何中心且垂直于导弹纵轴的平面称为特征毁伤面,装备部件的无遮挡面积指部件无其它部件遮挡而可能被射弹损伤的裸露部分在毁伤特征面上的投影面积。

假设 I:不考虑弹头爆炸以前的其它各种因素,只考虑弹头的性能和起爆时导弹的瞬时姿态和弹头的瞬时速度、爆点的位置;

假设 II:部件在特征毁伤面上的较小投影区域内,破片的着点是均匀分布的;

假设 III:各等效易损体的六个面与坐标系的 X 轴(S 轴)的关系不是平行就是垂直,即各车在阵地的排列方式为车的行驶方向平行或垂直于战斗基准方向。

2 坐标系的建立及有关参数的计算

根据本问题的特点,建立以下直角坐标系: o 为坐标原点,表示制导站的几何中心点; ox 轴,在过原点的水平面内,其指向敌机来袭方向,反向; oz 轴,过原点且垂直于水平面,垂直指向上方; oy 轴,在过原点的水平面内,垂直于 ox 轴和 oz 轴,与上述二轴成右手系。

2.1 战斗部的描述

ARM 战斗部的主要参数有:战斗部的装填系数、破片的飞散范围、破片的设计数、初速和质量等。根据

收稿日期:2004-02-17

基金项目:军队科研基金资助项目

作者简介:贺筱军(1972-),男,陕西渭南人,讲师,硕士生,主要从事防空作战优化理论与方法研究;

李安平(1961-),男,陕西周至人,教授,硕士生导师,主要从事优化理论与方法研究。

有关资料显示^[1,3,5], ARM 的破片飞散区可用某一空间曲面来近似描述, 本文采用破片具有空心锥形飞散区的预制破片式战斗部作为研究对象, 不考虑爆炸冲击波, 只考虑破片的损伤作用。由于预制破片式战斗部的 ARM 的特点, 可近似地认为破片的初速是相等的, 只是飞散方向有所区别。其初速为 $v_0 = D_e \sqrt{\beta/5(2+\beta)}$ 。其中: D_e 为炸药的爆速(m/s); β 为装药与壳体的质量比。

有效杀伤半径为 $R_0 = q_f^{1/3} \ln[(v_{f0} \sqrt{q_f}) / \sqrt{2gE_B}] / [0.5C_x \rho_0 \rho(H) g \Phi(a)]$ 。式中各符号的意义见文献[3]。

2.2 装备的几何描述

根据坐标系的定义, 可确定各装备的几何中心点的坐标 (x_i, y_i, z_i) , $i = 1, 2, \dots, n$ 分别为各车的代号。第 i 辆装备的长、宽、高记为 (l_i, b_i, h_i) , 则第 i 辆装备所占空间矩形区域为

$$\{(x, y, z) | (x - x_i)^2 \leq l_i^2/4, (y - y_i)^2 \leq b_i^2/4, (z - z_i)^2 \leq h_i^2/4\}$$

由于导弹炸点的位置关系, 从炸点处所能看到的等效易损体的侧面会有所不同, 等效易损体暴露在弹片攻击正面方向上的面有 1~3 个。车内的部件简化为等效易损体讨论时, 也有类似的视通关系。

2.3 装备(部件)有效毁伤面积的计算

不考虑部件间的遮挡关系时, 记部件 i 的第 j 个侧面所在平面为 S_{ij} , 部件 i 的第 j 个侧面在 S_{ij} 上所占有区域为 S_{ij} , S_{ij} 在该装备的瞬时特征毁伤面上的投影区域为 σ_{ij} 。则 σ_{ij} 的面积为 $S_{ij}^* = S_{ij} \cos \xi$, 其中 ξ 为平面 S_{ij} 与特征毁伤平面的夹角(取锐角), 则部件 i 的有效毁伤面积为 $S_{ie}^* = \sum_j S_{ij}^*$ 。

若部件间存在遮挡关系, 根据假设, 弹片毁伤不到被遮挡部分。因此, 弹片对部件的毁伤作用产生于其无遮挡的面积, 则弹片对部件的有效毁伤面积由无遮挡面积产生。

综上所述, 考虑到遮挡关系时, 部件 i 的有效毁伤面积为 $S_{ie}^* = \sum_j S_{ij}^*_{\text{无遮挡}}$ 。其中 $S_{ij}^*_{\text{无遮挡}}$ 为部件 i 的第 j 个侧面的无遮挡部分在 S_{ij} 上所占有区域的面积为 $S_{ij}^*_{\text{无遮挡}}, S_{ij}^*_{\text{无遮挡}} = S_{ij} \cos \xi$ 。

3 装备落入毁伤区的确定准则

装备可能发生损伤的区域为

$$\{(x, y, z) | (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 \leq R_0^2, |x - x_i| \leq l_i/2, |y - y_i| \leq b_i/2, |z - z_i| \leq h_i/2\}$$

当装备可能发生毁伤区域为空集时, 弹片不会造成装备损伤。由于反辐射导弹的破片动态飞散区为一空心锥体, 不能简单地用上述条件来判断, 须进一步细化。

判断第 i 台装备是否落入导弹的动态毁伤区主要有距离和角度两个条件。

3.1 距离条件

导弹破片要能杀伤装备, 必须考虑装备的防护厚度、破片的设计特性等。记导弹爆炸点 $B_m(x_0, y_0, z_0)$ 与第 i 辆装备的几何中心 $Q_m(x_i, y_i, z_i)$ 的距离为 $R_i = \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2 + (z_0 - z_i)^2}$ ($i = 1, 2, \dots, n$)。则必有 $R_i \leq R_0$, 其中 R_0 为 ARM 的有效作用半径。

3.2 角度条件

记角度 θ 为装备暴露在导弹攻击方向的顶点和导弹炸点的连线与导弹纵轴的夹角, 若要导弹的弹片能击中第 i 辆装备, 则 θ 须满足或部分满足条件: $\phi \leq \theta \leq \phi_2$ 。其中 ϕ_1, ϕ_2 分别为 ARM 的动态飞散范围的内外边缘的两个角度值。

根据预制破片式战斗部杀伤区的定义知, 某装备要落入其有效杀伤范围的条件是必须同时满足角度条件和距离条件。

4 有效毁伤面积上弹片数及损伤概率的计算

任取点 $A(x, y, z) \in \sigma_{ij}$, 记 $\theta = \langle m, B_m A \rangle$, B_m 为爆点, m 为平行于起爆瞬间导弹纵轴所在直线且指向制导站方向的向量。记 $\phi'_{ij} = \min\{\theta | \theta = \langle m, B_m A \rangle \forall A \in \sigma_{ij}\}$; $\phi''_{ij} = \max\{\theta | \theta = \langle m, B_m A \rangle \forall A \in \sigma_{ij}\}$ 。则部件 i 在第 j 个侧面的无遮挡部分被击中的弹片总数近似地由以下公式计算:

$$n_{ij} = N(1 - \lambda) \frac{S_{ij}^* \text{无遮挡}}{S_{ij}^*} \int_{\phi'_{ij}}^{\phi''_{ij}} \Phi(\varphi) d\varphi$$

式中: N 为战斗部设计破片总数; λ 为破片损失系数; S_{ij}^* 为爆点斜距为 D 时毁伤特征面对破片的动态飞散区的截痕面积(见图 1), $S_{ij}^* = \pi D^2 (\tan^2 \phi''_{ij} - \tan^2 \phi'_{ij})$; $\Phi(\varphi)$ 为破片的飞散方向密度函数。

计算装备(部件)的毁伤概率时,将装备的防护材料的厚度转化为硬铝 LY12 的等效厚度 $h = h_1 \frac{\sigma_{b1}}{\sigma_{b0}}$, 式中 h_1 为防护材料的厚度, σ_{b1} 为防护材料的强度极限, σ_{b0} 为硬铝 LY12 强度极限。单枚破片对硬铝的毁伤概率为

$$P_i = \begin{cases} 1 + 2.65e^{-0.34E_b} - 2.9e^{-0.14E_b} & E_b \geq 4.7 \\ 0 & E_b < 4.7 \end{cases}$$

其中: $E_b = 1.02 \times 10^{-4} q_f^{1/2} V_d^2 / h$; P_i 为单枚破片击穿硬铝的概率; q_f 为单枚破片质量(克); V_d 为破片存速(m/s); h 为等效硬铝厚度(mm)。

破片对目标的损伤概率为 $P_t = 1 - e^{-n_e P_i}$ 。式中: P_t 为破片对目标的毁伤概率; n_e 为落入易损面积上的有效破片数; p_i 为单枚有效破片的毁伤概率。

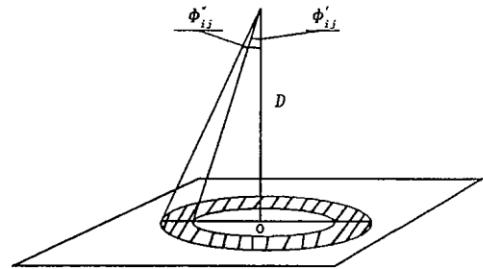


图 1 弹片飞散区在距离 D 处毁伤平面上的截痕

5 算例分析

相关参数为:飞散角 $\Phi = 200^\circ$ 、飞散方向角 $\Omega = 30^\circ$ 、破片数 $N = 2\ 000$ 、破片初速为 $1\ 500\text{m/s}$ 、炸点方位角 $\beta = 0^\circ$ 时,对某型地空导弹装备天线收发车的典型部件第 X 号机柜损伤概率计算结果与仿真结果见表 1。

以上结果表明,利用该计算模型计算的结果与仿真结果差别不大,有一定的应用价值。并且该方法原理简单,易应用。但是若要取得较为精确的结果时,用解析计算的计算量是较大的,在当今计算机比较普及的条件下,利用本方法是适用的。

参考文献:

- [1] 李建平,石全,甘茂治. 装备战场抢修理论与应用[M]. 北京:兵器工业出版社,2000.
- [2] 李廷杰. 导弹武器系统的效能及其分析[M]. 北京:国防工业出版社,2000.
- [3] 唐崇祿. 国防系统分析方法[M]. 北京:国防工业出版社,2003.
- [4] 李向东. 目标毁伤理论及工程计算[D]. 南京:南京理工大学,1996.
- [5] 许金余,于萍,赵靖. 单机掩蔽库群生存概率计算模型[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2003,4(6):8-10.

(编辑:田新华)

A Method Used for Approximate Calculation of the Battle Damage Probability of the Equipment

HE Xiao-jun, LI An-ping

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China)

Abstract: According to the characteristics and requirements of the BDAR theory, by taking the ARM of the preformed fragment warhead as a supposed threat, a model is established by employing the analytic method, which can approximately calculate the damage probability of the fragments to the parts of the guided station under the ARM attack. The calculating results tally with the simulation results.

Key words: BD; damage probability; guided station; approximate calculation

距离/m	$\varepsilon = 45^\circ$		$\varepsilon = 30^\circ$	
	仿真	计算	仿真	计算
30	0.827 6	0.840 7	0.852 9	0.869 0
40	0.653 5	0.678 4	0.698 3	0.711 4
50	0.525 4	0.579 9	0.568 5	0.579 2
60	0.390 2	0.438 1	0.427 7	0.437 9
70	0.297 2	0.311 1	0.321 9	0.332 1
80	0.208 1	0.228 7	0.227 4	0.232 8
90	0.138 7	0.142 7	0.149 6	0.155 3