

doi: 10.7690/bgzdh.2014.06.002

某防空火箭武器系统对武装直升机的射击能力研究

张建立, 郭忠伟, 吉礼建, 杨海波
(陆军军官学院 2 系, 合肥 230031)

摘要: 为了提高某防空火箭武器系统的作战效能, 开展了其对武装直升机射击能力的研究。具体分析了解空火箭武器系统抗击武装直升机的搜索能力、抗击强度、射击时间等因素, 构建了对武装直升机射击精度的计算模型, 并进行了仿真实验。该仿真结果可为防空火箭武器系统快速形成作战能力提供参考。

关键词: 防空火箭; 武装直升机; 射击能力; 仿真实验
中图分类号: TJ415 **文献标志码:** A

Shooting Ability Research on Anti-Aircraft Rockets Weapon System Against Armed Helicopter

Zhang Jianli, Guo Zhongwei, Ji Lijian, Yang Haibo
(No. 2 Department, Army Officer Academy of PLA, Hefei 230031, China)

Abstract: In order to improve the combat effectiveness of anti-aircraft rockets weapon system, the research on shooting ability to armed helicopter has been carried out. A detailed analysis of the anti-aircraft rockets weapon system against armed helicopter search capability, combat strength, firing time and other factors, constructed the calculation model of calculating the firing accuracy to armed helicopter, and carried on the simulation experiment. The simulation results can provide reference for the anti-aircraft rockets weapon system to improve the combat capability rapidly.

Keywords: anti-aircraft rockets; armed helicopter; shooting ability; simulation experiment

0 引言

武装直升机是一种专门设计用于对地面攻击和空战的直升机, 是一种机动性强、隐蔽性好、毁伤力大和生存能力高的武器系统, 成为各类防空兵器打击的主要对象。防空火箭对武装直升机的搜索能力、抗击强度、射击时间、射击精度等决定着防空火箭的射击能力。笔者研究防空火箭武器系统对武装直升机的射击能力, 更好地发挥其作战效能。

1 对武装直升机的搜索能力

目标存在于搜索空域的条件下, 能否被发现取决于目标特性(目标的运动参数、几何尺寸及形状等)和侦察器材的性能。当侦察器材为雷达时, 影响条件发现概率的主要性能参数有发射机功率、发射带宽、天线增益、波长、虚警概率、系统损耗等; 当用光学器材搜索时, 影响发现目标概率的主要性能参数有视场角、搜索速度、搜索域最大范围等, 搜索能力通常由式(1)^[1-2]求取。

$$P_2 = 1 - \exp(-\lambda t p_k) \quad (1)$$

式中: λ 为单位时间内与目标接触次数; p_k 为接触

条件发现目标的概率; t 为搜索持续时间。

当目标落入雷达波瓣时, 操作手能否在荧光屏上检测出目标, 取决于目标信号能量与噪声能量比值的大小, 雷达波瓣掠过目标一次的发现概率, 当脉冲积累数较大时可近似按下式求取:

$$P_{ix} = \left(\frac{nS_N + 1}{nS_N} \right)^{n-1} \exp(-y / (nS_N + 1)) \quad (2)$$

式中: n 为一次扫描的脉冲累积数; Y 为检测的门坎值; S_N 为单个脉冲的信噪比。

无干扰时、信噪比 S_N 的计算公式为:

$$S_N = (R_0 / R)^4 \quad (3)$$

式中: R 为目标距离; R_0 为信噪比为 1 时的雷达作用距离。

当目标位于无源干扰区或雷达位于目标的有源干扰区时, 信噪比 S_N 按下式计算:

$$S_N = (R_0 / R)^2 \quad (4)$$

2 对武装直升机的抗击强度

防空火箭武器系统通常为一个多通道消失制排

队系统，防空火箭武器系统未能进行服务的目标将自动离去而突破防空火箭武器系统的防线。假设防空火箭武器系统有 C 个火力单位，则防空区域内有 n 个目标的概率可用 Erlang 公式计算：

$$P_n = \frac{\frac{1}{n!} \rho^n}{\sum_{k=1}^C \frac{1}{k!} \rho^k} \quad (5)$$

式中： n 为防空区域内目标数； C 为服务台数； ρ 为服务强度 $\rho = \lambda / \mu$ 。特别是当 $n=C$ 时，上式可表示为

$$P_C = \frac{\frac{1}{n!} \rho^C}{\sum_{k=1}^C \frac{1}{k!} \rho^k} \quad (6)$$

上式表示 C 个服务台都在服务的概率，显然当 C 个服务台均在忙于服务时，后续的目标将因此得不到服务而突防。因此 $n=C$ 时的 Erlang 公式称为 Erlang 损失公式，是衡量一个防空火箭武器系统抗击强度强弱的重要指标^[3]。

3 对武装直升机的射击时间

射击时间是指目标一次飞越有效射击范围时，防空火箭武器系统对其射击的全部时间^[4]。也就是在目标一次飞越中，防空火箭第一个提前点和最后一个提前点均位于有效射击边界上时，相应的全部射击时间。射击时间包括临近射击时间和离远射击时间，其计算公式如下。

当 $D_j \geq r$ 时：

$$T = \sqrt{D_{q\max}^2 - H^2 - d_j^2} / V_m + (t_{f\max} - t_{fj}) \quad (7)$$

$$T' = \sqrt{D_{q\max}^2 - H^2 - d_j^2} / V_m - (t_{f\max} - t_{fj}) \quad (8)$$

当 $D_j \leq r$ 时：

$$T = \left(\sqrt{D_{q\max}^2 - H^2 - d_j^2} - \sqrt{r^2 - d_j^2} \right) / V_m + (t_{f\max} - t_{fr}) \quad (9)$$

式中： $D_{q\max}$ 为最大提前斜距离； t_{fj} 相应于 H 和 d_j 的射弹飞行时间； r 防空火箭连的死界半径； t_{fr} 相应于 H 和 r 的射弹飞行时间。

对武装直升机的射击时间除了受目标飞行条件的影响外，还与火炮发射阵地位置及地形条件有重要关系。讨论射击时间的前提应该是保证武器系统必须在武装直升机进行攻击之前完成对其射击，以确保所掩护目标的对空安全。

4 对武装直升机的射击精度计算

某防空火箭武器系统的火箭弹由定向器发射，装配时间引信，在被攻击目标附近爆炸，形成破片场，以此抗击空中目标。这种弹药一次由多管射出，在被攻击目标处形成较大的破片覆盖区域，该区域内具有一定的破片密度。因此，对处于该区域内的目标具有一定的毁伤能力^[5]。

4.1 炸点位置的分布

炸点的散布主要由发射系统、弹药飞行稳定性以及外界环境条件等许多不确定因素引起。炸点位置的散布是三维的，但由于垂直弹道切线方向的散布对弹药的毁伤效能影响相对较小，为了简化计算，只考虑其他 2 个方向的散布。如图 1 所示，以攻击目标中心(瞄准点)为原点，在垂直弹道切线的平面内建立直角坐标系 OXY ， OX 轴垂直弹道面， OY 轴向上。在此平面内目标和破片交汇，称此平面为交汇面。

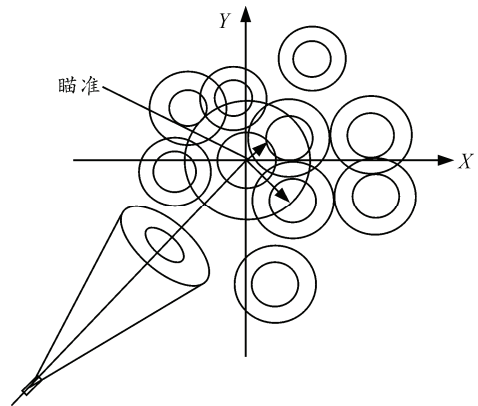


图 1 坐标系及炸点投影散布示意图

假设炸点在交汇面上的投影散布服从独立的二维正态分布，分布密度函数为

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp \left\{ - \left[\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{(y-y_0)^2}{2\sigma_y^2} \right] \right\} \quad (10)$$

其中： σ_x, σ_y 为投影点在 X 和 Y 方向上的散布均方差； x_0, y_0 为投影点在 X 和 Y 方向上的系统误差。

4.2 齐射后破片分布

破片在一定的范围内是均匀散布，而炸点位置是随机变化的(服从上面假设的散布规律)；因此，一次齐射后，破片覆盖区域内不同位置处破片的密度不同。在 XOY 平面内，任取一点 $Q(x_Q, y_Q)$ ，该点

破片的密度记为 $n(x_Q, y_Q)$ 。因为单发战斗部爆炸后, 其破片分布为内外半径分别为 R_i 和 R_o 的圆环, 则仅当战斗部炸点落在下面的圆环 B 内时, 战斗部抛射出的破片才能覆盖 Q 点。战斗部炸点落在圆 B 内的概率为:

$$P_1 = \iint_{S_B} f(x, y) dS \quad (11)$$

式中: P_1 为炸点投影落在圆环 B 内的概率; $f(x, y)$ 为炸点位置在 XOY 平面上投影点的分布密度函数; S_B 为圆环 B 内的区域。

由圆环 B 的方程: $R_i^2 \leq (x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 \leq R_o^2$ 可得:

$$P_1 = \iint_{R_i^2 \leq (x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 \leq R_o^2} \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left[-\left[\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{(y-y_0)^2}{2\sigma_y^2}\right]\right] dx dy \quad (12)$$

采用数值计算方法进行计算, 把以 Q 点为圆心, 以 R_i 和 R_o 为半径的圆环, 划分成许多微元, 射弹落在微元内的概率近似为:

$$P_k = f(x_k, y_k) dS_k \quad (13)$$

式中: (x_k, y_k) 为 k 微元面中心的坐标; dS_k 为微元面的面积。

则炸点投影落在圆环内的概率 P_1 可近似为:

$$P_1 = \sum_k P_k \quad (14)$$

一次齐射 m 发弹后, Q 点可能被 i ($i=0, 1, 2, \dots, m$) 发弹抛射出的破片覆盖区域所覆盖。假设一次齐射中, 每发弹炸点位置是相互独立的, 所以 Q 点被 i 发弹的破片区所覆盖的概率为

$$P^{(i)} = C_m^i P_1^i (1-P_1)^{m-i} \quad (15)$$

Q 点被 1 发弹覆盖, 该处的破片密度 $n^{(1)}$; 若被 i 发弹的破片区覆盖, 该处的破片密度 $n^{(i)} = n^{(1)} \cdot i$, 可见 Q 点处的破片密度也是随机变化的, 该点处的平均破片密度为

$$\bar{n} = \sum_{i=0}^m P^{(i)} n^{(i)} = n^{(1)} m P_1 \quad (16)$$

这里所说 Q 点处破片密度, 实际是指该处破片密度的平均值(期望值), 即

$$n(x_Q, y_Q) = \bar{n} \quad (17)$$

根据式 (15) 和式 (16) 可算出 XOY 平面内任一点破片的密度 $n(x, y)$ 。

4.3 命中目标破片数

设目标高度为 H , 斜距离为 d , 则交汇角 η 为

$$\eta = \sin^{-1}\left(\frac{H}{d}\right) \quad (18)$$

目标在交汇面上的投影面积为

$$A_\Omega = l \cdot D \sin \eta \quad (19)$$

其中: l 为目标的长度; D 为目标的直径。

命中目标的破片数的期望值为

$$n_e = \iint_{\Omega} n(x, y) dS \quad (20)$$

其中 Ω 为目标在交汇面上的投影区域。

4.4 命中目标的概率

设目标的命中区域为 V , 单发射弹的弹迹(炸点)为 X , 当弹迹(炸点)落入目标命中区域内时, 则称该发射弹命中目标, 由此命中目标的事件可表示为:

$A = \{x \in V\}$, 命中目标的概率为

$$P = P(A) = P\{x \in V\} = \int_{x \in V} \varphi(x) dx \quad (21)$$

式中 $\varphi(x)$ 是弹迹(炸点) x 即射击误差 Δ 的分布密度。

对着发射击, $\varphi(x)$ 是二维正态分布, 则

$$P = \iint_V \varphi(x_1, x_2) dx_1 dx_2 \quad (22)$$

对于空炸射击, $\varphi(x)$ 是三维正态分布密度函数, 则得

$$P = \iiint_V \varphi(x_1, x_2, x_3) dx_1 dx_2 dx_3 \quad (23)$$

5 仿真实验

计算了不同射击条件下对不同高度的武装直升机射击时, 命中目标的破片数与斜距离的关系^[6]。不同射击条件下对不同高度(1 000 m 和 1 500 m)的直升机射击时, 命中目标的破片数与斜距离的关系, 计算结果如图 2 (a)(b)所示。

如果按目标速度为 75 m/s, 目标高度为 50 m, 目标从 4 500 m 至过航点, 一次点射平均毁歼概率为 0.72。