

攻击大目标子母弹射击概率的分析与估算*

唐建 秦子增 郑荣跃

(国防科技大学航天技术系 长沙 410073)

摘要 射击概率是子母弹武器效能分析的重要参数,本文以攻击大(线)目标子母弹为对象,提出一种计算命中概率的简便的近似法,计算结果表明该方法计算量小,计算精度工程上可接受;本文还引出了子母弹封锁概率的概念,并作了初步分析。本文结果对子母弹武器论证与设计使用将提供有益的参考。

关键词 子母弹, 命中概率, 封锁概率, 近似法

分类号 E924

Analysis and Estimation of Shooting Probability of Submunition Attacking Large Object

Tang Jian Qin Zizeng Zheng Rongyue

(Department of Aerospace Technology, NUDT, Changsha, 410073)

Abstract Shooting probability is an important parameter of submunition efficacy. In this paper, a simple approximate method is given for calculating percentage of hits of submunition attacking large (linear) object. The calculating results show that approximate method is of computational advantage and the results are satisfactory. Then the concept of block probability of submunition is introduced and discussed in this paper. The results would be useful reference for further research of submunition.

Key words submunition, percentage of hits, block probability, approximate method

当前,各国的子母弹武器类型很多,从装载的子弹看,可按引导方式划分为:无控子弹、末控子弹、末修子弹三种,其中末修子弹是介于末控子弹与无控子弹之间的一种子弹药。它比无控子弹的射击效率高,又远比末控子弹的弹上设备及导引设备简单;而对攻击固定的大目标以及慢速运动的目标,其精度又足够高,因此,末修子弹具有较高

* 1997年2月12日收稿

的效费比。

对某选用母弹，究竟采用上述子弹药中的哪一种？取决整个子母弹武器系统的多种性能指标要求。本文以未修子弹与无控子弹为对象，讨论攻击固定的大（线）目标的命中概率。计算子母弹的命中概率，一般采用数值模拟方法，如 Monte Carlo 法^[1]、协方差分析法^[2]等，这些方法大都要求解弹道方程，计算量都较大。本文在对子母弹运动作一定的简化假设后，提出对子母弹命中概率进行估算的近似法，算例中，通过与 Mote Carlo 法计算结果比较表明：本方法计算量小，精度满足工程要求。

1 子母弹命中概率的估算方法

一般未修子弹的飞行过程如图 1 所示，有抛撒、减速调姿、扫描和修正攻击目标等阶段，当忽略外界环境对子弹散布的干扰时，则其最终散布取决于母弹的精度和抛撒方式。子弹从母弹中抛撒出来后在空中形成一个抛撒圆，将抛撒圆投影到地面，则如图 2 所示。子弹在抛撒圆中的分布由抛撒方式决定（一般假定均匀分析），圆的中心称为抛撒中心，常假定它就是母弹的落点且假定服从正态分布，因此，一发子母弹的命中概率 P 为：

$$P = P_m \cdot P_z \quad (1)$$

其中： P_m 为母弹落入地面某区域的命中概率， P_z 为此时子弹命中概率。

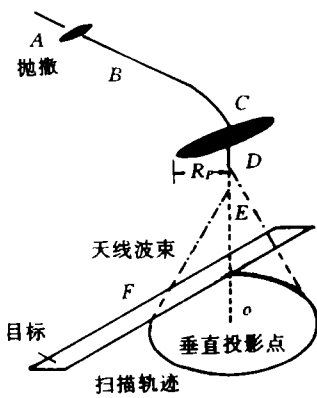


图 1

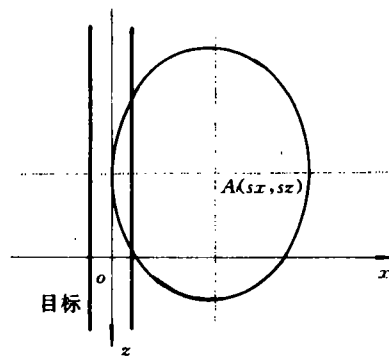


图 2

1.1 母弹的命中概率 P_m

一般情况下，在给定母弹的 CEP（圆形概率误差，以下同），可用下式计算单发母弹落入区域 C ($X^2+z^2 \leq R^2$) 的命中率：

$$P_m = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \iint_C \exp\left[-\frac{(x^2+z^2)}{2\sigma^2}\right] dx dz \quad (2)$$

$$\text{即} \quad P_m = 1 - \exp\left[-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right] \quad (3)$$

其中：

$$\text{CEP} = 1.1774\sigma \text{ 或 } \sigma = \text{CEP}/1.1774 \quad (4)$$

对一个点目标，可以用 (3) 式计算出母弹落入不同半径圆内的概率；当目标为大的

线目标时，因其长度较长，母弹落入长度范围的概率趋于 1，可以不考虑母弹在长度方向的散布，则 (2) 式的积分可以简化为：

$$P_m = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{x+dx} \exp\left[-\frac{(x-sx)^2}{2\sigma_x^2}\right] \frac{dx}{\sigma_x} \quad (5)$$

根据一发母弹的命中概率， n 发母弹的命中概率可用二项式分布公式计算：

$$P_n = \sum_{k=1}^n C_n^k P_m^k (1 - P_m)^{n-k} \quad (6)$$

1.2 无控与末修子弹的命中概率

由于无控与末修子弹一般均在目标上空相近的高度大面积抛撒，因此，我们假定无控与末修子弹的飞行弹道如图 1 所示，它们的差别主要体现在末端弹道修正上（即图 1 中 D 点到落地段）。

假定子弹在抛撒圆内均匀分布（设 R_p 为抛撒半径），对于无控弹，如果子弹在地面投影点在目标上，那么子弹可以命中目标，反之，不能命中；对于末修弹，我们假定只要子弹距离目标的长度小于末修距离 L ，那么子弹就可以命中目标，反之，不能命中。

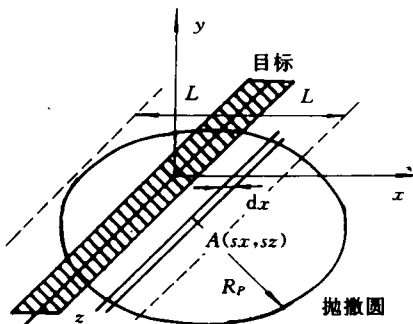


图 3

当抛撒中心在区间 $(sx, sx+dx)$ 时，子弹在空中形成半径为 R_p 的圆，其地面投影形状如图 3，由前面的假定，无控子弹命中概率可用下式来表示：

$$P_{w1} = S_1/S \quad (7)$$

末修子弹命中概率可用下式来表示：

$$P_{m1} = S_2/S \quad (8)$$

这里 S_1 代表抛撒圆中与目标重合部分的面积， S_2 代表抛撒圆中虚线所围面积， S 是抛撒圆的面积。

那么，子母弹最终命中概率可以通过面积积分计算出来，对于无控弹，其概率由下式给出：

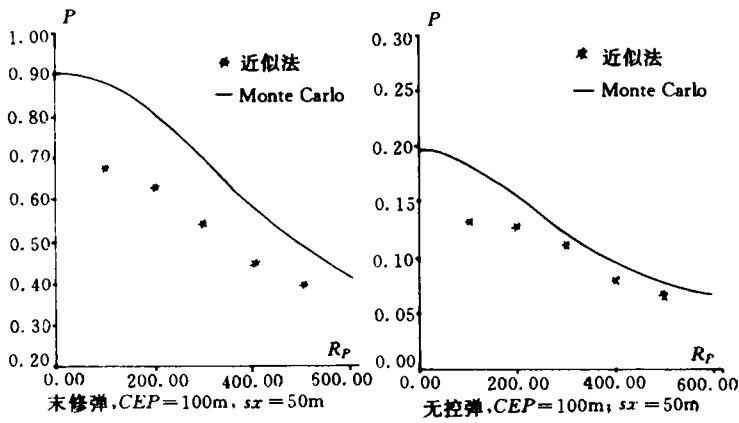
$$P_w = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} P_{w1} \exp\left[-\frac{(x-sx)^2}{2\sigma_x^2}\right] \frac{dx}{\sigma_x} \quad (9)$$

对于末修弹，其概率由下式给出：

$$P_m = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} P_{m1} \exp\left[-\frac{(x-sx)^2}{2\sigma_x^2}\right] \frac{dx}{\sigma_x} \quad (10)$$

按上述方法，对无控与末修子母弹的命中概率作了计算，并与 MonteCarlo 法结果进行了比较，结果见图 4。从中可看出：近似法与 MonteCarlo 法的结果有相同的变化趋势，而且近似法估计值偏大，当参数的散布误差较小时，两方法的计算结果相差更小。

1.3 算例



未修弹, CEP=100m, sx=50m

无控弹, CEP=100m, sx=50m

图 4

表 1 表示母弹头装填无控子弹时不同的母弹射击数所对应的射击概率。表 2 表示装填末修子弹的母弹射击概率。

表 1 母弹头装填无控子弹

P \ n	n		
CEP \	1	2	3
50m	0.28	0.48	0.63
100m	0.20	0.36	0.49
200m	0.11	0.21	0.30
300m	0.08	0.15	0.22

n : 母弹射击数

表 2 母弹头装填末修子弹

L \ P	P		
CEP \	0.3	0.5	0.7
300m, 一发	100m	175m	269m
300m, 二发	53m	98m	156m
400m, 一发	132m	232m	356m
400m, 二发	71m	130m	207m

L : 子弹修正距离

从中可以看出, 在某些条件下, 末修子弹比无控子弹的命中概率要高。如母弹 CEP=100m, 装载无控子弹, 一发母弹命中概率为 0.49, 而母弹 CEP=300m, 装载末修子弹, 修正距离 175m, 一发母弹的命中概率可以达到 0.5。

2 子母弹的封锁概率分析

子母弹的封锁概率不同于子母弹的命中概率, 命中目标不一定摧毁目标 (这里摧毁指目标不能正常使用), 命中同时摧毁目标, 称为实现了封锁。假定无控与末修子弹有相同的战斗部, 且落入目标点部分, 该部分即被摧毁。那么对点目标, 命中概率就等于封锁概率, 对线目标而言, 一者有很大区别。设线目标长为 L_M , 目标中不存在一块长度大于 L_N 的区域, 则认为目标被封锁, 否则认为未封锁。

为了封锁目标，子母弹抛撒出来的子弹在目标上要有一定的覆盖范围，覆盖范围的大小与母弹的精度 CEP、未修距离 L 和抛撒半径 r 等因素有关，如图 5 所示，由于母弹精度的影响，母弹有可能落在 A 点，此时，未修子母弹可能覆盖目标的最大长度为 $2r+2L$ ，而当母弹落在 B 点或 B 点以外时，子弹无法修正到目标上，因而覆盖长度为 0，当母弹落在 A 、 B 之间时，其覆盖长度介于 $2r+2L$ 与 0 之间；另外，子弹的落点具有随机性，如在抛撒圆中处于 C 点的子弹，未修后，子弹有可能落在 D 点，也可能落在 E 点，因而子母弹实际覆盖长度会有些变化。为了简化分析问题，我们忽略子弹落点的随机性对覆盖长度的影响。

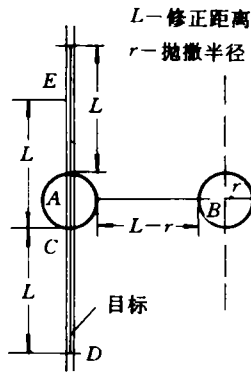


图 5

一般情况下，线目标长度 L_M 大于子母弹的最大覆盖长度，单发母弹封锁目标较困难，所以我们考虑两发母弹的封锁概率。

如图 6 所示，设两发母弹瞄准点分别为 A 和 B ，瞄准点为 A 的母弹称为母弹 A ，瞄准点为 B 的母弹称为母弹 B ，瞄准点距离目标边缘为 y ，母弹实际覆盖长度为 L_A 和 L_B (阴影部分)，当满足 $x_1, x_2, x_3 < L_N$ ，那么两发母弹可以完全封锁目标；当 x_1, x_2, x_3 中

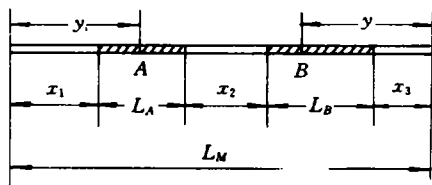


图 6

任何一段大于 L_N 时，两发母弹不能封锁目标。如图 7 所示，由于母弹落点服从二维正态

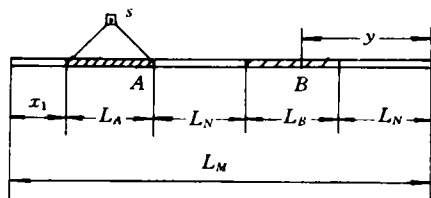


图 7

分布，可以利用 (2) 式计算母弹 A 落入面积微元 s 的概率 P_A ，此时通过几何关系可以确定覆盖长度 L_A ，从图 7 可以看出，母弹 B 的覆盖长度必须包含 L_B ，两发母弹才能封锁目标，设母弹 B 满足此条件的概率为 P_B ，那么母弹 A 在面积微元 s 处的可以封锁目标的概

率为 $P_A P_B$ ，这样，通过面积分可以得到两发母弹的封锁概率 P 。

$$P = \iint P_A \cdot P_B ds \quad (11)$$

参 考 文 献

- 1 高明坤. 实用概率统计学. 北京国防工业出版社, 1995
- 2 欧阳杰, 王成绪. 协方差分析描述函数法在火箭导弹统计性能分析中的应用. 兵工学报弹箭分册, 1981
- 3 James H Taylor. Handbook for the Direct Statistical Analysis of Missile Guidance Systems via CADET. Analytic Sciences Corporation, AD-A013397, 1995
- 4 Gelb A. and Warren R S. Direct Statistical Analysis of Nonlinear Systems; CADET. AIAA Journal, 1973, 11 (5)

(责任编辑 石少平)