

## 末敏子母弹落点的近似模拟\*

袁天保,程文科,秦子增

(国防科技大学航天与材料工程学院,湖南长沙 410073)

**摘要** 攻击线目标的末敏子母弹是一种新型弹种,具有较高的射击效力。在分析末敏子母弹抛撒和运动特性的基础上,提出近似模拟末敏子弹落点的方法,分析过程简单、快速,结果具有一定的可信性,为近似分析末敏子母弹武器系统射击效力提供了参考工具。

**关键词** :子母弹,末敏,落点,近似模拟

**中图分类号** :TJ410.33 ;TJ762.11 **文献标识码** :B

## The Approximate Simulation for the End Points of Terminal-sensitive Cluster Warhead

YUAN Tian-bao, CHENG Wen-ke, QIN Zi-zeng

(College of Aerospace and Material Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract** : Anti-line target terminal-sensitive cluster warhead is a new kind of bomb. It has good shooting efficiency. Based on the analysis of the scattering and flying properties of the terminal-sensitive cluster warheads, an approximate simulation method for the end points is introduced. Analysis is simple and the result is acceptable. It provides a good referential tool for the analysis of terminal correction cluster warhead system's shooting efficiency.

**Key words** : cluster warhead, terminal-sensitive, end point, approximately simulation

子母弹对线目标(如机场跑道、桥梁等)的封锁概率是衡量子母弹武器系统效力的重要指标,对这个问题的分析过去往往是采用复杂的全弹道 Monte-Carlo 分析方法,这种分析过程必须经过大量的数值模拟,消耗时间过长,不适于初步分析子母弹效能。因此出现了许多快速、简单而且结果可信的近似分析方法,如文献[1,2]。这些方法都是假设出子弹在抛撒圆内的分布,利用此分布模拟子弹落点,分析其射击效力,已经较好地应用在无控子母弹的效力分析上面,但是作为末敏子母弹这样一种新型弹种的效力分析,还没有得到很好的应用,究其原因主要是子弹弹道修正过程中运动比较复杂导致难以模拟出子弹落点。本文在分析末敏子弹运动过程和建立较少的误差源的基础上,近似模拟出末敏子弹的落点,结果有一定的可信性,可以作为末敏子母弹武器系统射击效力分析的参考。

### 1 子母弹的运动特性分析

#### 1.1 子母弹的抛撒分析

子弹从母弹中抛撒出来以后,经过一段时间降落伞减速调姿的飞行,基本达到稳定下落的状态,此时子弹群将在空中形成一个大小基本不变的近椭圆(环)形,这个椭圆(环)的特性与抛撒时母弹的状态、抛撒速度和抛撒方式密切相关。子弹群抛出和撒播基本有三种形式:单环抛撒、多环抛撒和霰弹式抛撒<sup>[3]</sup>。

单环式抛撒一般子弹体积和质量较大,数量较少,其抛撒之后子弹群的分布是一个椭圆环,称为威力环,子弹在威力环内的分布类似于“环形山”的圆环正态分布。多环抛撒可以视为多个单环抛撒的叠加,可以形成威力圆或较宽的威力环。

\* 收稿日期:2002-04-10  
作者简介:袁天保(1977-),男,博士生。

霰弹式抛撒是母弹中携带大量的体积较小的子弹,抛撒之后子弹群近似形成一个椭圆状分布,称为威力圆,子弹在抛撒圆内的分布接近于均匀分布。

不失一般性,本文讨论子弹分布为抛撒圆的情况。

## 1.2 未敏子弹的运动过程分析

未敏子弹从母弹中抛撒出来以后,首先利用减速机构进行减速和调姿,经过一段时间之后达到稳定下落的状态,到达预定的高度时开启探测机构,对目标进行探测,一旦进入对目标的有效探测范围就启动弹道修正机构,对子弹的弹道进行修正,使子弹飞向目标。

## 2 未敏子弹落点模拟

### 2.1 由母弹精度得到每个子弹的理论落点

由于子弹群的散布中心为母弹落点,如果已知母弹精度  $CEP$ ,则根据母弹的精度  $CEP$  可以得到母弹落点的散布均方差  $\sigma$ ,具体关系为  $CEP = 1.1774\sigma^{[3]}$ 。再根据母弹落点的均值与均方差,并通过计算机模拟方法便可得到母弹落点。如图 1 所示, $O$  点即为一次模拟得到的母弹落点,圆  $O$  为抛撒圆, $R_p$  为抛撒半径。

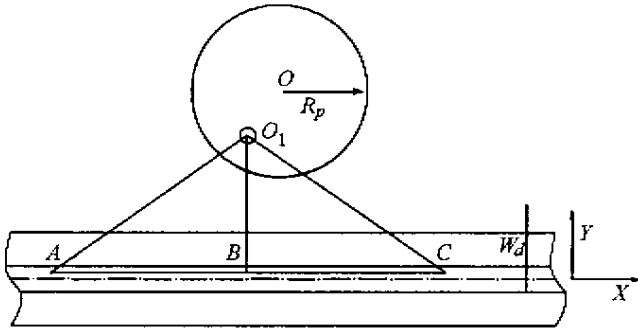


图 1 未敏子弹与目标关系示意图

Fig. 1 Terminal-sensitive cluster warhead and target

根据已经得到的母弹落点,可以模拟出这枚母弹的子弹在抛撒圆内的分布(假设子弹在抛撒圆内均匀分布)。具体方法如下:先随机得到两个值  $L_1$ 、 $L_2$ ,这两个量均是在  $(-R_p, R_p)$  区间上均匀分布的随机变量,然后判断,如果  $\sqrt{L_1^2 + L_2^2} \geq R_p$ ,则重新产生  $L_1$  和  $L_2$ ,直到  $L_1$  和  $L_2$  满足条件为止。将  $L_1$  和  $L_2$  分别作为沿目标纵、横向子弹相对母弹落点的相对坐标,利用母弹落点坐标和  $L_1$ 、 $L_2$  两个值可以模拟出子弹在抛撒圆内的分布。这样的模拟经过验证可以满足子弹在抛撒圆内均匀分布的特性。

对于无控子弹可以近似认为子弹在抛撒圆内的二维坐标即为子弹落点的坐标,未敏弹由于有一部分子弹要经过修正过程,因此落点不能简单地认为与抛撒圆内坐标相同。如图 1 所示, $O_1$  为模拟出的抛撒圆内的一个子弹,这枚子弹可以探测到目标上的有效探测范围  $W_d$ ,因此这枚子弹将进行弹道修正。图中  $O_1A$  和  $O_1C$  为子弹的探测距离,一般设计为子弹的修正距离,实际情况中会有一些的随机性偏差,模拟时可以考虑这种偏差。考虑到子弹飞行过程中打开探测机构时探测点的随机性,因此探测点在目标横向的坐标也是随机的,为目标上有效扫描范围内均匀分布的随机数。探测点是  $A$  和  $C$  中的一个点,探测到二者的概率分别为  $1/2$ 。根据上面的信息,就可以模拟得到子弹的探测点,这个点即为这枚子弹的理论落点,也就是子弹落点的期望值。

### 2.2 据子弹精度得到目标上子弹落点分布

子弹的理论落点,也就是落点的均值,要模拟出子弹的落点还必须得到子弹落点的散布均方差,也就是子弹的精度。由于在模拟子弹理论落点的时候考虑了母弹的偏差(母弹精度  $CEP$ ),因此这里考虑的子弹精度是子弹的修正精度,即修正到目标上的子弹占探测到目标上子弹的比率,这种精度排除了由

母弹带给子弹的偏差。在已知最大修正偏差时可以近似用  $3\sigma$  原则得到子弹的散布均方差  $\sigma$ 。

根据得到的子弹落点均值和均方差,利用计算机模拟方法得到子弹的落点,这样就模拟出了未敏子弹的落点分布。

### 2.3 未敏子弹落点模拟计算公式

#### 2.3.1 模拟母弹落点

$$\begin{cases} X = Y_{miao} + z_1 \cdot CEP/1.1774 \\ Y = Y_{miao} + z_2 \cdot CEP/1.1774 \end{cases} \quad (1)$$

其中  $(X, Y)$  为母弹落点坐标  $(X_{miao}, Y_{miao})$  为这枚母弹的瞄准点坐标,  $CEP$  为母弹精度,  $z_i$  为一个服从标准正态分布的随机数,下同。

#### 2.3.2 模拟抛撒圆内子弹

$$\begin{cases} L_1 = -R_p + 2R_p \cdot w_1 \\ L_2 = -R_p + 2R_p \cdot w_2 \end{cases} \quad (2)$$

其中  $R_p$  为抛撒半径,  $w_i$  为  $(0, 1)$  区间内均匀分布的随机数,以下同。  $L_1$  和  $L_2$  为中间变量,二者必须满足条件:  $\sqrt{L_1^2 + L_2^2} \leq R_p$ ;

$$\begin{cases} x = X + L_1 \\ y = Y + L_2 \end{cases} \quad (3)$$

其中  $(x, y)$  为子弹在目标坐标系中的坐标。

#### 2.3.3 子弹探测点(理论落点)

如果  $\left| |y| - \frac{W_d}{2} \right| \leq S_{xiu}$  则未敏子弹可以探测到目标。其中  $W_d$  为有效探测范围,  $S_{xiu}$  为修正距离(探测距离在地面的投影值);

$$y_\mu = y - \frac{W_d}{2} + W_d \cdot w_3 \quad (4)$$

其中  $-\frac{W_d}{2} + W_d \cdot w_3$  为探测点横向坐标。探测点纵向坐标为:

$$\begin{cases} x_\mu = x + \sqrt{S_{xiu}^2 - y_\mu^2} & w_4 \geq 0.5 \\ x_\mu = x - \sqrt{S_{xiu}^2 - y_\mu^2} & w_4 < 0.5 \end{cases} \quad (5)$$

其中  $x_\mu$  即为探测点纵坐标。

#### 2.3.4 模拟子弹落点

$$\sigma = D/3$$

其中  $\sigma$  为子弹落点散布均方差,  $D$  为最大修正偏差;

$$\begin{cases} x_i = x_\mu + \sigma \cdot z_3 \\ y_i = y_\mu + \sigma \cdot z_4 \end{cases} \quad (6)$$

其中  $(x_i, y_i)$  为模拟出来的子弹落点坐标。

## 3 模拟结果分析

假设子母弹抛撒半径为 100m;一枚母弹携带 50 枚未敏子弹;子弹群形成一个抛撒圆,子弹在抛撒圆内均匀分布;母弹精度  $CEP$  为 150m;未敏子弹的修正距离为 150m;攻击目标为 3000m  $\times$  50m 的线目标,母弹瞄准点为目标中心。利用本文的方法模拟出未敏子弹的落点,可以得到落点在目标上的分布如图 2、3 所示。经过验证,结果与全弹道 Monte-Carlo 模拟相近,从结果可以看出,未敏子弹对目标局部造成严重的破坏,使用未敏子母弹攻击机场目标会收到更好的效果。

## 4 结束语

本文利用近似的方法,模拟出未敏子弹的落点,为分析未敏子母弹的射击效力提供了较好的参考工

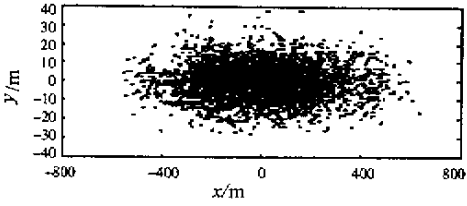


图2 50次模拟末敏子弹落点分布

Fig.2 End points of 50 times simulation

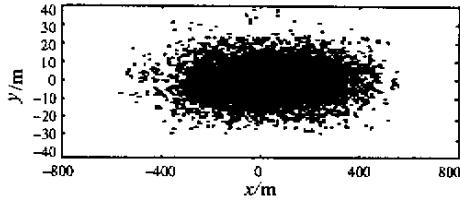


图3 100次模拟末敏子弹落点分布

Fig.3 End points of 100 times simulation

具。由于是近似方法,因此存在一定的误差,主要表现在以下几个方面:

(1) 抛撒圆内子弹的分布:本文中取为均匀分布,实际中子弹在抛撒圆(环)内的分布模型较为复杂,文献[3]中有较为详细的论述;

(2) 探测高度误差:子弹探测过程中由于定高的误差造成探测距离一定的误差,可以根据子弹定高误差的模型得到子弹探测距离误差;

(3) 探测点横向坐标的误差:根据子弹自旋的特点,可以知道子弹探测点在目标横向有一定的分布,本文假定为均匀分布,具有一定的近似性;

(4) 子弹修正精度误差:子弹修正过程有一定的误差,本文利用 $3\sigma$ 原则近似确定,实际中可以根据实验结果或大量数值模拟结果得到;

(5) 本文假定母弹和子弹落点均服从正态分布,其合理性有待于验证。

## 参考文献:

- [1] 石喜林,谭俊峰.飞机跑道失效率计算的统计试验法[J].火力与指挥控制,2000,25(1):74-76.
- [2] 王志军,陈超.机载布撒器对机场跑道封锁效率的Monte-Carlo仿真[J].弹箭与制导学报,2001,21(2):73-76.
- [3] 张廷良,陈力新.地地弹道式战术导弹效能分析[M].北京:国防工业出版社,2001.

