

doi: 10.7690/bgzdh.2022.11.002

末敏弹射击效能计算模型

柏 苗, 袭祥云, 刘丽冰

(西南计算机有限责任公司技术中心, 重庆 400060)

摘要: 针对现有末敏弹射击效能评估存在的不足, 基于打击面目标, 建立以毁伤目标数及弹药消耗量作为射击效能评价指标的数学模型, 并结合示例计算不同条件下的末敏弹射击效能。结果表明: 该模型能很好地用于指控系统、火控系统中使用末敏弹时的射击效能评估, 满足指挥员弹药量化的决策需求, 对新型弹药作战水平的提高具有较重要的参考价值。

关键词: 末敏弹; 毁伤目标数; 火力点; 耗弹量; 射击效能计算

中图分类号: TJ413 **文献标志码:** A

Firing Effectiveness Calculation Model of Terminal Sensitive Projectiles

Bai Miao, Xi Xiangyun, Liu Libing

(Technology Center, Southwest Computer Co., Ltd., Chongqing 400060, China)

Abstract: Aiming at the deficiency of the existing fire efficiency evaluation of terminal sensitive projectile, a mathematical model of fire efficiency evaluation was established based on the number of damaged targets and ammunition consumption, and the fire efficiency of terminal-sensitive projectile under different conditions was calculated with an example. The results show that the model can be used to evaluate the firing efficiency of terminal sensitive ammunition in command and control system and fire control system, and can meet the commander's decision demand of ammunition quantification. It has important reference value for improving the combat level of new ammunition.

Keywords: terminal sensitive projectile; number of damaged targets; firepower point; ammunition consumption; firing efficiency calculation

0 引言

末敏弹是一种敏感引爆弹药, 是把先进的敏感器技术和爆炸成型弹丸技术应用到子母弹领域的一种新型弹药, 具有自动搜索、探测、识别及攻击的能力^[1], 能用于对付自行火炮、战车及其他车辆组成的装甲目标集群。末敏弹的射击效能是指在完成给定射击任务的有效程度, 分析末敏弹的射击效能, 对于辅助指挥员完成战前筹划具有重要意义。

对末敏弹射击效能的研究, 更多文献资料是给出了毁伤率的计算过程, 即采用基于毁伤机理的方式进行仿真得出毁伤效果。2 种方式都存在不足, 前者在算法上存在一定空白, 后者计算时间长, 性能较低, 无法很好地适配指控、火控等分系统^[2]; 因此, 寻找一种优化的射击效能计算模型尤为重要。

1 末敏弹作用原理

末敏弹发射后飞行至预定打击目标区上空, 时间引信作用点燃抛射药, 在空中预定计算位置, 母弹开舱投放出末敏子弹, 末敏子弹延期张开一级减速伞, 在减旋翼和减速伞的作用下减速减旋, 撞击

热电池使其延期激活。与此同时, 末敏子弹抛掉一级减速伞及伞舱, 释放二级减速伞, 激光雷达测距装置开始工作。末敏子弹通过旋转伞提供稳态扫描平台, 使系统定速旋转稳定飞行^[1,3]。末敏子弹在下降过程中, 敏感器探测识别到目标, 立即起爆战斗部形成爆炸成型侵彻体, 并以较高速度从顶部攻击目标, 进而毁伤该目标。

2 数学模型

2.1 确定火力点

首先确定目标区, 建立坐标系^[4]。假设射击时决定诸元位置位于目标中心, 以目标中心为坐标原点 O , O_x 轴指向射击方向, O_y 轴与地面垂直并指向上方, O_z 轴根据右手定则确定。

若给定目标区尺寸 L_x 、 L_z 和目标数量 N , 则目标 T_p 的坐标 (X_{T_p}, Z_{T_p}) 为

$$\left. \begin{aligned} X_{T_p} &= \sigma \cdot L_x \\ Z_{T_p} &= \varepsilon \cdot L_z \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中: $p=0 \sim N-1$; σ 、 ε 为在 $[0,1]$ 上服从均匀分布的

收稿日期: 2022-07-12; 修回日期: 2022-08-20

作者简介: 柏 苗(1987—), 女, 四川人, 硕士, 高级工程师, 从事指挥控制信息系统软件研究。E-mail: 594394703@qq.com。

随机量, 即 $\sigma, \varepsilon \sim U(0,1)$ 。

若有 N 个目标在 $L_x \times L_z$ 的目标区域均匀分布, 分火的目的是要将效力射诸元分为 m_x 个距离(表尺)和 m_z 个方向(即分配 $m_x \times m_z$ 个火力点)进行射击, 使得在射击面积 $\Omega = L_x \times L_z$ 上保证有均匀分布^[5]的火力。

根据地面火炮武器系统的射击效力理论并考虑末敏弹作用过程^[6]的特殊性, 若相邻表尺的间隔为 I_x , 相邻方向的间隔为 I_z , 则当射击的弹药消耗量 S 在各个火力点上平均分配, 并且:

$$\left. \begin{aligned} I_x &= (1.5 \sim 2.0) \sigma_{母x} + 2R \\ I_z &= (1.5 \sim 2.0) \sigma_{母z} + 2R \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

可保证在纵深和宽度为

$$\left. \begin{aligned} L_x &= (m_x - 1) I_x + 3\sigma_{母x} \\ L_z &= (m_z - 1) I_z + 3\sigma_{母z} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

的区域内火力基本均匀分布。

式(2)中: R 为最大子弹扫描半径; $\sigma_{母x}, \sigma_{母z}$ 为母弹落点的均方差

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{母x} &= \sqrt{E_x^2 + E_x'^2} / 0.6745 \\ \sigma_{母z} &= \sqrt{E_z^2 + E_z'^2} / 0.6745 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式中 E_x, E_z 和 E_x', E_z' 分别为诸元误差和母弹散步误差的中间偏差。根据上式计算出 m_x, m_z 后, 则第 M_{ij} 个火力点的坐标为:

$$\left. \begin{aligned} x_i &= 1.5\sigma_{母x} + i \times I_x \\ z_j &= 1.5\sigma_{母z} + j \times I_z \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

2.2 计算命中(毁伤)目标数

毁伤目标数是指以 S 发弹射击 N 个集群目标时, 目标被毁伤的数量。影响多发末敏弹条件下子弹分布的因素包括射击误差、子弹扫描面积、对目标射击时的火力点个数等, 子弹在目标区域内服从正态分布。使用坐标毁伤律来计算炸点坐标为 (x, z) 或 (x, z, h) 时的毁伤目标的条件概率 $G(x, z)$ 或 $G(x, z, h)$, 它根据若干项基础试验的数据计算而得。因此, 若给定目标区信息和用弹量 S , 首先按 2.1 节确定火力点数量及其坐标, 再按照式(6)计算子弹对目标区内单个目标的覆盖率^[3]:

$$P_{子n} = \iint_S \frac{1}{2\pi\sigma_{子x}\sigma_{子z}} e^{-\frac{1}{2}[(x-x_{子0})^2/\sigma_{子x}^2 + (z-z_{子0})^2/\sigma_{子z}^2]} dx dz \quad (6)$$

式中: 子弹误差由诸元误差、母弹散步误差及子弹散步误差组成; $\sigma_{子x}, \sigma_{子z}$ 为子弹落点的均方差; S

为以目标坐标为圆心, 半径为 R 的圆面积, 即积分区域为:

$$(x - x_{Tp})^2 + (z - z_{Tp})^2 = R^2 \quad (7)$$

式中 $x_{子0}, z_{子0}$ 为子弹落点期望值, 与火力点坐标相同:

$$\left. \begin{aligned} x_{子0} &= x_i \\ z_{子0} &= z_j \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

按照式(9)将产生的 2 维正态分布落点转换到实际坐标系中:

$$\left. \begin{aligned} X &= x_m + x_1 \cos \alpha - z_1 \sin \alpha \\ Z &= z_m + x_1 \sin \alpha + z_1 \cos \alpha \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

子弹对单个目标的命中(毁伤)率^[7]:

$$P_{子hn} = P_{子n} P_h \quad (10)$$

式中 P_h 为进入目标区的子弹对目标的命中(毁伤)率, 对末敏弹这种攻顶武器而言, 一旦命中目标基本上即可毁伤目标; 因此, 可认为毁伤率等同于命中率。在计算命中率时, 按照末敏弹的作用过程分为母弹飞行段、减速减旋段、稳态扫描段及命中目标段, 结合大量仿真计算和试验结果综合考虑, 进入目标区的子弹对单个目标的平均命中(毁伤)率 P_h 取值为 80%^[8]。因此, 子弹扫描区域内有 N 个目标的命中(毁伤)率为:

$$P_{子h} = N_{母h} = 1 - \prod_{n=1}^N (1 - P_{子hn}) \quad (11)$$

毁伤程度与耗弹量为指数关系, 发射多发弹的射击精度和炮弹效力幅员均相等。假定用弹量平均分配或手工指定, 按照式(12)计算对火力点 M_{ij} 发射的 S_{ij} 发母弹的命中(毁伤)目标数:

$$N_{hij} = N_{hmax} \left[1 - (1 - N_{母h} / N_{hmax})^{S_{ij}} \right] \quad (12)$$

多个瞄准点射击时, 分别求出各个瞄准点射击时效率指标后, 即可获得总的射击效率指标。

2.3 计算总耗弹量^[9]

弹药消耗量计算是求取射击效率指标的逆过程, 是指达到预定毁伤目标数的耗弹量。若给定目标区信息和要求的命中(毁伤)目标数 N_h , 首先按 2.1 节确定火力点数量及其坐标, 然后按照 2.2 节中方法计算出对每个火力点计算一发母弹的命中(毁伤)目标数 $N_{母h}$, 按照式(13)得到每个火力点的用弹量:

$$S_{ij} = \log_{(1 - N_{母h} / N_{hmax})} (1 - N_{hij} / N_{hmax}) \quad (13)$$

式中 N_{hij} 为每个火力点需要命中(毁伤)的目标数,

假定平均分配，也可人工指定。

平均分配条件下：

$$N_{hij} = N_h / (m_x \times m_z) \quad (14)$$

对多个火力点射击时，总的弹药消耗量等于各个火力点上弹药消耗量的代数和，即计算总耗弹量 S 为：

$$S = \sum_{i=0, j=0}^{i=m_x-1, j=m_z-1} S_{ij} \quad (15)$$

3 计算示例

以某型末敏弹为例，计算对某类型目标的毁伤目标数。基本参数取值为射程 17 mil、诸元误差距离向 1/150、诸元误差横向 2 mil、母弹散布距离向

1/200、母弹散布横向 1 mil、子弹散布 $E_x=80$ m、子弹散布 $E_z=25$ m、子弹最大扫描半径 60 m。计算流程如图 1 所示，给不同的目标尺寸、目标个数及用弹量作为输入条件，最后统计出毁伤目标数如表 1。

表 1 毁伤目标数

序号	目标区尺寸/m	目标总数	用弹量	毁伤目标数
1	400×200	10	10	3.54
2	600×300	12	10	3.20
3	1 000×500	36	30	10.80
4	1 000×500	300	200	140.20
5	2 000×1 000	100	60	30.50
6	2 000×1 000	100	120	45.50
7	4 000×2 000	200	150	40.30
8	4 000×2 000	400	150	70.10
9	4 000×2 000	400	300	135.40
10	4 000×2 000	400	350	125.90

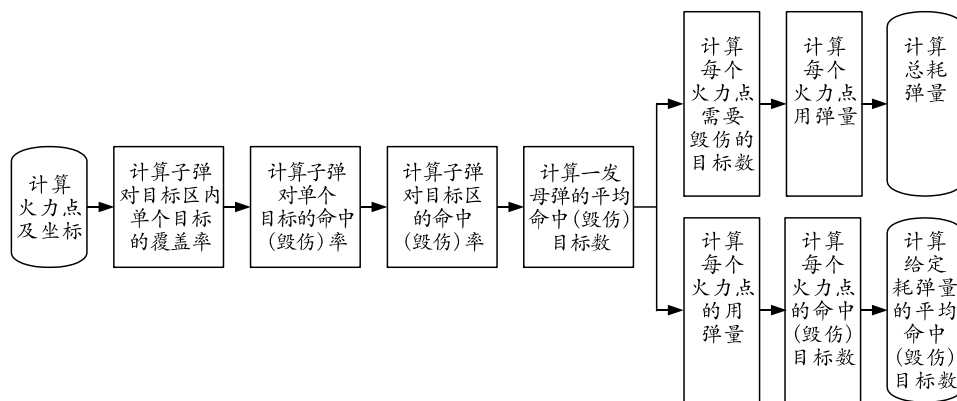


图 1 末敏弹射击效能计算流程

4 结论

笔者从毁伤目标数及耗弹量两方面为高效评估末敏弹射击效能提供了可行的方法，其射击效能计算模型已在相关产品如指挥控制系统、火控系统研发过程中得到应用，满足了指挥员弹药量化及火力分配的决策需求，对于其他弹种射击效能的研究有一定的借鉴作用，对于新型弹药作战水平的提高具有较重要的参考价值。

参考文献：

[1] 李福海, 董晓瑞. 末敏弹的毁伤效率[J]. 四川兵工学报, 2008, 29(5): 26-32.
 [2] 刘文举, 魏琳. 基于集群目标的末敏弹效能仿真模型[J]. 火箭与制导学报, 2015, 35(1): 165-172.

[3] 谢文, 叶志红, 丁忠照. 末敏弹射击效能分析[J]. 火力与指挥控制, 2021, 46(7): 62-65.
 [4] 蒋海燕, 王树山, 徐豫新. 末敏子母战斗部对导弹阵地的毁伤效能评估[J]. 弹道学报, 2013, 25(4): 79-84.
 [5] 王兆胜. 炮射子母弹对均匀分布集群目标射击效率计算[J]. 火力与指挥控制, 2020, 45(2): 105-109.
 [6] 王树山. 终点效应学[M]. 北京: 科学出版社, 2019: 474-480.
 [7] 魏国强, 朱元武, 王杰, 等. 便携式装甲射击的训练模拟器射击[J]. 兵器装备工程学报, 2016, 28(3): 24-30.
 [8] 王兆胜. 炮射子母弹毁伤概率近似计算数学模型研究[J]. 系统仿真学报, 2016, 28(6): 1312-1320.
 [9] 郑斌, 李学英. 末敏弹对集群目标射击效力评估的一种解析模型[J]. 火箭与制导学报, 2013, 33(4): 102-105.